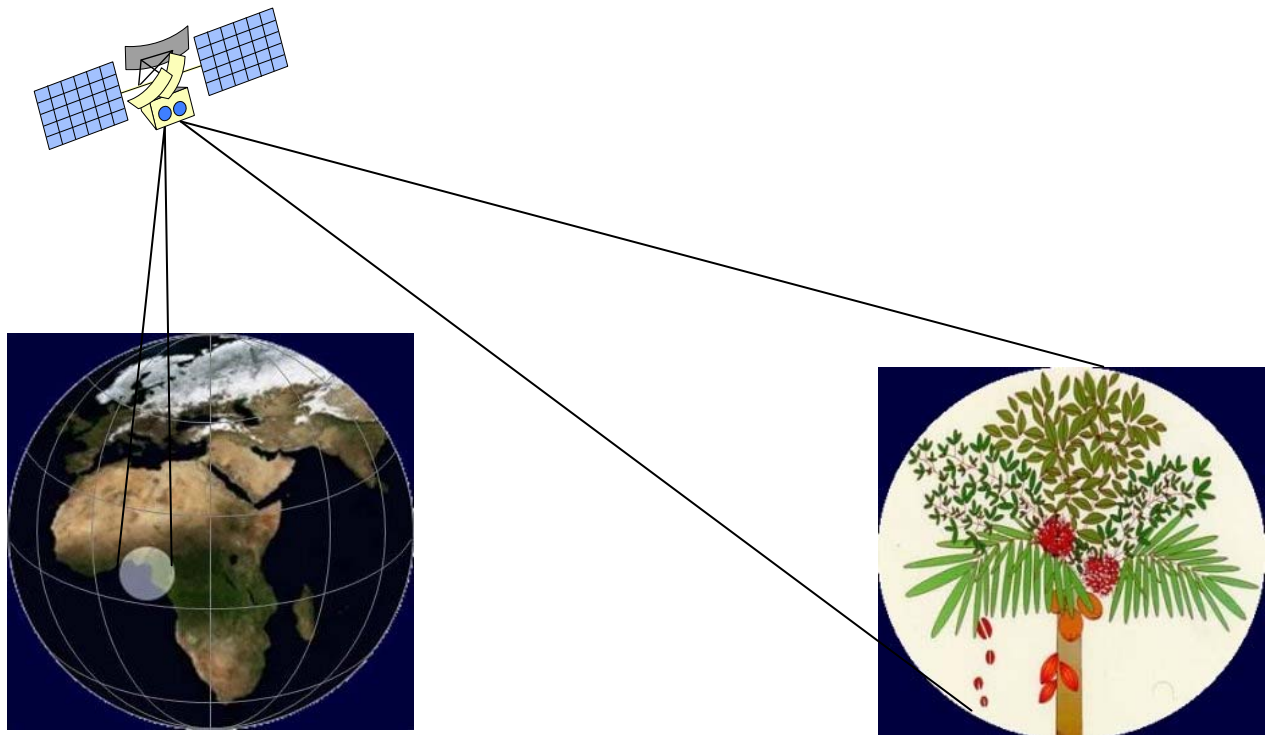


**Appui « télédétection »
au montage du
PCP Agroforesterie-Cameroun :**
Compte rendu de mission à Yaoundé et Bokito

Camille LELONG, Nathalie LAMANDA
15-25 mai 2011



Sommaire

A] Rencontres avec le PCP « Agroforesterie Grand Sud Cameroun » à Yaoundé.....	5
B] Mise en place d'une campagne d'acquisition de vérité-terrain pour la télédétection à Bokito (appui à la thèse de M. Castela)	10
1) Appui à la thèse de M. Castela	15
2) Identification de types d'occupation du sol non photo-interprétables.....	18
3) Identification d'arbres individualisés pour une reconnaissance multispectrale	22
4) Inventaire intraparcellaire des espèces arborées pour une caractérisation de la structure des plantations	31
4-a) Principe et objectifs.....	31
4-b) Détail du protocole.....	31
4-c) Gestion des transects et échantillonnage de la zone.....	34
4-d) Notice de la fiche d'enquête	34
4-d) Liste du matériel à emporter sur le terrain :.....	36
4-e) Utilisation en télédétection:.....	36
5) Programmation de la fin de la mission de M. Castela	38
6) Remerciements	39
C] Annexes.....	40
Annexe 1 : Communication sur les rencontres à Yaoundé par J.-M. Boffa, coordinateur CIRAD du PCP à Yaoundé:.....	40
Annexe 2 : Liste des espèces recensées en 2007 dans la zone de Bokito par C. Messie.....	44
Annexe 3 : Exemples de fiches d'inventaire intra-placette rempli sur le transect C.	48
Annexe 4 : Diapositives des conférences données à l'Université de Yaoundé	49

(L'annexe 4 est fournie dans un fichier PDF séparé)

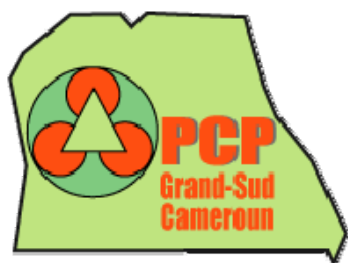
Liste des figures

Figure 1: P. Jagoret explique aux planteurs le principe de l'enquête de vérité terrain pour la télédétection et les initie à la photo-interprétation de l'image à partir de leur habitation et de leurs parcelles. Sur le côté : logo de la Fuprocam.	10
Figure 2 : Illustration de la diversité d'espèces associées aux cacaoyers, à tous leurs stades de développement: encore jeunes sur la photo de gauche, déjà productifs sur la photo de droite.	11
Figure 3 : Exemple de plantation régulière de cacaoyers cachée sous l'apparence d'un « fouillis végétal » (les photos de droite et de gauche représentent la même parcelle selon deux angles de vue différents).....	12
Figure 4 : Illustrations de l'hétérogénéité d'âges des cacaoyers rencontrée dans les plantations traditionnelles : à gauche, un exemple de trouée dans la canopée d'ombrage, accompagnée d'un renouvellement des cacaoyers ; à droite : un jeune cacaoyer entouré d'arbres déjà âgés.	12
Figure 5 : Jeunes bananiers et palmiers implantés dans une trouée au sein d'une cacaoyère.	13
Figure 6 : Parcelles « âgées » comportant une variété de modes de « rajeunissement » de la cacaoyère résultant en une diversité d'âges importante. Le recépage à la base des pieds de cacaoyers est notamment bien visible sur la photo de droite.....	13
Figure 7: Identification des trois strates verticales majeures composant un système agroforestier à base cacao traditionnel typique de la région d'étude (Bakoa, près de Bokito).....	14
Figure 8 : a) Exemple de matériel préparé par M. Castela pour un repérage d'arbres et la cartographie intraparcellaire sur le terrain. b) Matériel disponible sur la même zone (parcelle marquée d'un cadre blanc sur l'image présentée en a).	16
Figure 9 : Photographie illustrant le repérage sur l'image satellite des zones à visiter pour leur interprétation.	18
Figure 10 : Image satellite en couleurs naturelles d'une parcelle de cacaoyers plantés selon un dispositif moderne incomplet (palmiers manquants) et exposés en plein soleil.....	19
Figure 11 : Photographies de terrain des cacaoyers représentés à la Figure 10 : à gauche, un cacaoyer au centre du triple rang et, à droite, la bande intercalée recouverte d'Imperata avec un très jeune palmier (non planté à l'époque d'acquisition de l'image) au centre.	19
Figure 12 : Image satellite en couleurs naturelles d'une parcelle (à gauche) de cacaoyers plantés en grille et en plein soleil et d'une autre parcelle (à droite) suivant un dispositif moderne en triple rang intercalés d'un rang de palmiers.	20
Figure 13 : Photographies de terrain des cacaoyers représentés à la Figure 12: à gauche, cacaoyers en plein soleil plantés en grille et, à droite, dispositif moderne planté très récemment (petits cacaoyers) en association avec des palmiers.	20
Figure 14: Image satellite en couleurs naturelles d'une parcelle présentant des zones circulaires de désherbage en préparation à l'implantation de jeunes palmiers.	21
Figure 15 : Très jeunes palmiers tout justes plantés au centre de cercles désherbés chimiquement correspondant à la parcelle présentée sur l'image satellite de la Figure 14, les palmiers n'avaient pas encore été plantés au moment de l'acquisition de cette dernière.....	21
Figure 16: Image satellite en couleurs naturelles de tarodières surélevées en zones humides et bordées de manioc. Le taro avait été récolté et pas encore replanté lors de l'acquisition de cette image.	22
Figure 17: Tarodières et autres cultures vivrières cultivées sur talus surélevé et bordé de manioc, apparaissant sur l'image satellite de la Figure 16.....	22
Figure 18 : Impression sur papier au format A3 de zones d'intérêt de l'image satellite en couleurs naturelles, suffisamment zoomée pour bien localiser les arbres, sur laquelle des gommettes de couleur marquées d'une initiale ont été collées à l'emplacement des arbres identifiés sur le terrain.	23

Figure 19 : Les fromagers (ou kapokiers?) se repèrent très facilement dans l'image en raison de leur taille imposante, leur situation dominante dans la canopée et surtout de leur caractère décidé en février : seul leur squelette apparaît dans l'image.	24
Figure 20 (page suivante): Quelques photographies prises sur le terrain pour renseigner la physionomie des arbres repérés.	24
Table 1 : liste des essences rencontrées sur le terrain et nombre d'arbres repérés sur l'image satellite pour chacune de ces espèces.	26
Table 1 (suite): liste des essences rencontrées sur le terrain et nombre d'arbres repérés sur l'image satellite pour chacune de ces espèces.	27
Figure 21 : Exemple d'arbres repérés sur le terrain et identifiables dans l'image satellite : encerclé en bleu marine un pamplemoussier, en bleu clair quatre palmiers, en jaune quatre manguiers, en blanc trois safoutiers, en rouge deux evinos (bonênê), en magenta un ekekam (bossambia).	28
Figure 22 : Signature spectrale (en luminance seulement) extraite de l'image Worldview2 des arbres identifiés à la Figure 21. Les arbres de même espèce sont représentés avec une même couleur.	29
Figure 23 : Zoom entre 600 et 1000nm de longueur d'onde du graphe de la Figure 22	29
Figure 24 : Exemple d'un schéma de situation permettant de localiser de façon précise le démarrage du transect pour l'inventaire intraparcellaire.	32
Figure 25 : Photographies illustrant le marquage au moyen de jalons en bois du carré matérialisant la placette d'enquête, avec utilisation de deux cordes mesurant respectivement le côté et la diagonale du carré.	33
Figure 26 : Photographie illustrant la formation d'E. Bouambi à l'utilisation de la boussole pour repérer les directions exactes dans l'espace (positionnement du premier jalon, orientation du transect, etc...)	33
Table 2 : Fiche d'enquête proposée pour l'inventaire intra-placette.	34
Figure 27 : Photographie du matériel à emporter sur le terrain pour l'inventaire intraparcellaire des arbres.	36
Figure 28 : Superposition sur l'image satellite du transect effectué sur le terrain dans la zone B, couvrant 2200m ² dont 1800m ² utilisables.	37
Figure 29 : Superposition sur l'image satellite du transect effectué sur le terrain dans la zone C, couvrant 600m ²	37
Figure 30 : L'équipe de « collecteurs de vérité-terrain pour la télédétection » de cette mission à Bakoa, rassemblés autour d'un jalon particulièrement compliqué à positionner au sein même des contreforts d'un immense fromager. De gauche à droite et de haut en bas : Jean-Paul Bidias, Emmanuel Bouami, Mballa, Camille Lelong, Nathalie Lamanda.	39

Table 1 : liste des essences rencontrées sur le terrain et nombre d'arbres repérés sur l'image satellite pour chacune de ces espèces.	26
Table 2 : Fiche d'enquête proposée pour l'inventaire intra-placette.	34

A] Rencontres avec le PCP « Agroforesterie Grand Sud Cameroun » à Yaoundé



Pôle de Compétence en Partenariat

Coordination de la Cellule, IRAD Nkolbisson BP 2067
Yaoundé Cameroun, tél. 22 23 85 49 / 9960 45 13

Dans le cadre de ses activités d'animation scientifique, la plateforme « **PCP Agroforesterie Grand Sud Cameroun** » organise le programme de conférences suivant, sous le haut patronage du **Recteur de l'Université de Yaoundé I** :

Lundi 16 mai 2011

9:00 Cérémonie d'ouverture - **Lieu** : Salle des Actes du Rectorat
9:15 Mot du responsable de l'institution hôte
9:30 Présentation du PCP, Dr. Bella Manga, Coordonnateur du PCP
10:00 Photo de famille
10:15 Pause café
10:30 -13:30 **Conférence 1** : Apport de la télédétection pour la caractérisation des systèmes agroforestiers
Animateur : Dr. Camille Lelong, Chercheur en télédétection spatiale, CIRAD, UMR TETIS
Modérateur : Dr. Mesmin Tchindjang, Département de Géographie, Université de Yaoundé I
Lieu : S-201, Bloc pédagogique, Faculté des Sciences

Mardi 17 mai 2011

9-12:00 **Conférence 2** : Evaluation agronomique et conception des systèmes de culture agroforestiers
Animateur : Dr. Nathalie Lamanda, Chercheur agronome des systèmes agroforestiers, CIRAD, UMR SYSTEM
Modérateur : Dr. Zachée Ambang, Département de Biologie Végétale, Université de Yaoundé I
Lieu : S-201, Bloc pédagogique, Faculté des Sciences



Grâce au concours et à l'organisation de Jean-Marc Boffa, coordinateur CIRAD du PCP Grand-Sud Cameroun à Yaoundé, de Jean-Luc Battini, directeur régional du CIRAD en Afrique Centrale, et des différents professeurs des universités de Yaoundé 1 et de Dschang, nous avons animé un programme de rencontres avec des professeurs et des étudiants impliqués dans des cursus d'agroforesterie, de géographie ou des sciences de l'environnement. Au cœur de ces rencontres, deux conférences de trois heures chacune (deux heures magistrales suivies d'une heure de discussions) ont permis de présenter, d'une part, les outils de télédétection et leur apport pour la caractérisation des systèmes de cultures agroforestiers et, d'autre part, les concepts d'évaluation agronomique de ces systèmes agroforestiers.

Outre une importante délégation de chercheurs du CIRAD (J.-L. Battini, directeur régional, J.-M. Boffa, UMR SYSTEM, P. Jagoret, UR34, O. Sounigo, UR31, M. Tenhoopen, UR 31, R. Bourgoing, UR34, C. Cilas, UR31, N. Moitisi, UR31), de l'IRAD (F. Bella Manga, L. Bidzanga, S. Nyassé, N. Ouguéné, H. Todem) ou encore de l'IITA/CIFOR (V. Rubiglio), l'assistance comprenait une vingtaine de professeurs des universités de Yaoundé I (entre autres : M. Moupou, Z. Ambang, M. Tchindjang, L. Zapfack, J. Youta Happy, B. Samba) et de Dschang (M.L. Avana, Z. Fritz) ainsi qu'environ deux cents étudiants de niveau Master.

Une séance de présentation du PCP et discussions afférentes a précédé les conférences, avec la participation du Vice-Recteur chargé de la Recherche, de la Coopération et du Monde des Entreprises (VRRCME): Prof Guy Tsala, du Vice-Recteur chargé du Contrôle et de l'Evaluation Interne (VRCEI): Prof Ze Amvela, du Vice-Recteur chargé des Enseignements, de la Professionnalisation et du Développement des Techniques d'Information et de Communication (VREPDTCI): Prof André-Marie Ntsobé et le Directeur des Affaires Académiques et de la Coopération (DAAC): Prof Daniel Abwa,.

La conférence de Camille Lelong contenait en résumé :

- Introduction d'ordre général et présentation personnelle
- Quelques définitions et principes de base en télédétection (imagerie, résolution spatiale, donnée multispectrale, spectroscopie de réflectance, texture, ...)
- L'intérêt de la très haute résolution spatiale pour les applications en agroforesterie
- L'extraction de l'information en télédétection, la segmentation et la classification (par pixel, orientée objet)
- Exemples d'application en agroforesterie
 - Eléments de typologie (cocotiers, Vanuatu ; caféiers, Ouganda et Indonésie ; bananiers, Guadeloupe ; agroforêts, Mayotte)
 - Cartographie des systèmes de culture (caféiers, Ouganda et Indonésie ; agroforêts, Mayotte)
 - Quantification de l'ouverture de la canopée dans les systèmes agroforestiers (cocotiers, Vanuatu)
 - Quantification et répartition du taux d'ombrage (caféiers, Ouganda)
 - Compréhension d'un territoire et caractérisation d'un terroir (café, Indonésie)
 - Estimation de paramètres biophysiques à l'échelle de l'arbre (LAI, palmiers, Indonésie)
 - Dynamique forestière (agroforêts, Cameroun)
- Les projets en cours ou à venir au Cameroun
 - Questions de recherche posées en télédétection
 - Indicateurs recherchés
 - Zone d'étude actuelle : Bokito, systèmes agroforestiers à base de cacaoyers couvrant une large gamme de diversité

- Quelques jolies vues de parcelles agroforestières à très haute résolution spatiale en couleurs réelles (données WorldView2)
- Les enjeux et les perspectives, ainsi que les verrous restant à lever.

La conférence de Nathalie Lamanda contenait en résumé :

- Introduction générale : Les enjeux de l'intensification écologique (définition, rôle de la biodiversité)
- Les systèmes de culture agroforestiers: un modèle pour l'intensification écologique ?
 - Définitions, exemples de classification structurelle des systèmes agroforestiers et illustrations
 - Présentation de la controverse au sujet des performances des systèmes agroforestiers
 - Caractéristiques des systèmes agroforestiers qui en font un modèle pour l'intensification écologique
- Exemples d'évaluation agronomique de systèmes de culture agroforestiers
 - Objectifs de l'évaluation des systèmes de culture
 - évaluation du rendement des systèmes agroforestiers du Cameroun
 - évaluation d'un service: la conservation de la diversité arborée
 - évaluation du compromis entre la production de café et la conservation de la diversité arborée
 - Deux exemples d'analyse multicritères
 - Les indicateurs d'évaluation et les concepts clé pour l'évaluation
- Exemples de conception de systèmes de culture agroforestiers :
 - Illustration des apports de l'évaluation pour identifier des voies d'amélioration des systèmes existants
 - Exemple d'utilisation des sorties de modèles de culture pour identifier des voies d'amélioration des situations existantes
 - La recherche agronomique peut également contribuer à faire évoluer le contexte de production auxquels sont soumis les agriculteurs
 - Les grandes étapes de la démarche de conception de systèmes de culture innovants.
- Conclusion: les outils des agronomes pour l'évaluation et la conception des systèmes de culture

Les diapositives des conférences sont présentées en annexe à ce rapport. Une « brève d'info » rédigée par Jean-Marc Boffa apparaît aussi en annexe.

Les questions que ces conférences ont inspirées ont été très nombreuses et à divers niveaux de réflexion.

Au sujet de la télédétection, elles ont principalement concerné la disponibilité des données, notamment de données gratuites, leur répétitivité, leur coût, les logiciels utilisés, les domaines d'application possible (forêt, sols, animaux...). D'autres étaient plus précises sur la pertinence des approches orientées objet ou pixel dans le cas de l'agroforesterie, la possibilité d'analyser la structure intraparcellaire avec des images SPOT, le temps que prendrait une étude sur tel ou tel domaine, des précisions complémentaires sur un terme donné (LAI, texture...), la possibilité de discriminer différentes essences d'arbres avec les images multispectrales. Certaines questions ont illustré l'étonnement de voir un conférencier venir de France et non d'une université Camerounaise et donc abordé la question des ressources locales en compétences dans le domaine ; des demandes de formation individuelle de spécialistes en sciences du sol, en agronomie ou en foresterie ont aussi émergé de ces questions, marquant le vif intérêt des scientifiques Camerounais pour les outils

présentés. Enfin, les aspects financiers tels que le coût des images ou les bailleurs possibles pour financer des projets de télédétection ont été évoqués.

Au sujet de l'évaluation agronomique, les questions ont principalement concerné les relations entre les systèmes agroforestiers et les autres systèmes de culture (notamment vivriers) mis en œuvre par les agriculteurs pour assurer la sécurité alimentaire des populations. Ces questions ont permis de préciser que les recherches sur les systèmes agroforestiers n'excluaient pas les autres systèmes de culture, c'est bien la combinaison des activités de l'exploitation agricole (incluant les systèmes agroforestiers mais aussi les activités non agricoles) qui doit être analysée pour répondre aux enjeux de développement. D'autres questions ont porté sur la diversité biologique et le rôle phytosanitaire ou fertilisant que pouvaient jouer certaines espèces présentes dans les systèmes agroforestiers. La question des indicateurs à construire pour refléter ces rôles dans les performances des systèmes agroforestiers a été soulevée. Enfin, des questions ont été posées sur l'organisation des systèmes agroforestiers et sur les outils disponibles, en association avec ceux offerts par la télédétection, pour les caractériser à différentes échelles.

Ces conférences ont fourni des indices quant à l'intérêt des partenaires du PCP pour un enseignement supérieur spécialisé en agroforesterie et pour les recherches menées dans ce domaine, alors que l'offre de formation en agroforesterie au Cameroun est actuellement limitée à un Master Pro proposé par les universités de Dschang et de Yaoundé I. Le PCP offre des capacités de mobiliser des compétences extérieures, de réfléchir à des enseignements spécialisés adaptés, sous forme de modules, pour une montée en puissance de l'enseignement supérieur en Agroforesterie. Le PCP pourrait par exemple contribuer à animer la réflexion et à rassembler les contributions des spécialistes en vue du montage d'un parcours reliant la France à d'autres pays africains, sous la forme éventuelle de modules de Master spécialisé recherche.

La possibilité d'une mise en place de formations en télédétection dans les universités camerounaises avec l'aide des spécialistes de l'UMR TETIS a aussi été beaucoup évoquée. Il existe une réelle volonté des professeurs, accompagnée d'une certaine compétence, mais le manque de moyens financiers pour l'acquisition de matériel informatique et de licences reste le verrou principal. Dans un premier temps, il est décidé de promouvoir la formation par le biais de stages d'étudiants Camerounais accueillis à Montpellier

Les premiers contacts ont donc été établis avec la hiérarchie et devraient à présent se poursuivre. Dans l'intervalle, l'animation scientifique du PCP par l'organisation ponctuelle de conférences de ce type pourrait être poursuivie par les agents CIRAD sur place et/ou les prochains missionnaires, notamment dans le domaine des bio-agresseurs.

Les discussions se sont poursuivies les deux après-midi, ainsi que le jour de notre retour du terrain, de façon plus individuelle avec certains partenaires du PCP. Elles ont en particulier abordé les objectifs de la thèse en cours de Manuel Castela, les projets tels que celui récemment soumis à l'appel d'offre EuropeAid ou à ceux qu'il serait possible de monter en partenariat dans les prochaines années. Elles ont également porté sur les collaborations qui pourraient se développer autour de l'enseignement supérieur en Agroforesterie. Il a été en particulier fait état du besoin de formation sur les méthodes et les outils de caractérisation des systèmes de culture agroforestiers (quels critères de typologie privilégier ? quels outils pour construire des typologies de systèmes agroforestiers ?) et de l'intérêt du co-encadrement des étudiants pour progressivement mettre en place ces collaborations.

Nous avons aussi reçu la visite sur le terrain de Sylvain Dépigny (UR26, CARBAT, Douala) afin d'établir un premier contact et de discuter de la possibilité de monter des collaborations sur la banane plantain. Toutes ces discussions se poursuivront depuis Montpellier.

Il apparaît clairement que l'implication de l'UMR TETIS au PCP « Agroforesterie Grand Sud Cameroun » par le biais d'expertises en télédétection et de missions d'appui est hautement souhaité par les partenaires. En effet, les besoins en cartographie sont désormais incontournables pour un grand nombre de domaines d'application scientifique. Les enjeux se placent à plusieurs échelles et concernent en particulier la caractérisation des parcelles agroforestières en termes de diversité végétale, de gestion de l'ombrage et de production totale, leur typologie (notamment basée sur leur structure), la cartographie des systèmes agroforestiers dans le paysage afin d'évaluer la répartition spatiale de ces modes de cultures, leur contribution dans le revenu agricole des ménages, et leur impact sur l'environnement dans une démarche d'écologie du paysage. Les aspects dynamiques, en particulier la progression des milieux agroforestiers en zone de savane ou la réorganisation de territoires autour de la plante pérenne (problèmes fonciers), sont aussi au premier rang des préoccupations et des questions de recherche pouvant être alimentées par des produits issus de la télédétection. En parallèle, la cartographie à partir de l'imagerie satellite est aussi très bien perçue comme outil de pré-échantillonnage des expérimentations et autres enquêtes de terrain.

Par ailleurs, le renforcement de l'appui méthodologique en « agronomie système » est également attendu au sein du PCP et en particulier par les partenaires de l'université de Dschang.

En conclusion, ces rencontres ont permis de faire mieux connaître auprès de tous les partenaires du PCP les travaux menés au sein de l'UMR TETIS en ce qui concerne l'extraction de l'information à partir de la télédétection, et en particulier ceux pouvant participer à l'étude des systèmes agroforestiers africains. Elles ont aussi permis d'identifier des pistes de recherche pour le montage de projets futurs, de nouer des contacts avec des collaborateurs potentiels, ainsi qu'avec des enseignants motivés pour promouvoir la discipline au sein de leurs cursus universitaires. Il apparaît clairement qu'une implication forte de l'UMR TETIS (à distance, compte tenu des contraintes techniques que la discipline impose, mais en soutien aux dispositifs locaux) dans cette plateforme scientifique qu'est le PCP Agroforesterie au Cameroun est attendue de la part des partenaires locaux.

B] Mise en place d'une campagne d'acquisition de vérité-terrain pour la télédétection à Bokito (appui à la thèse de M. Castela)

A l'issue des rencontres PCP à Yaoundé, nous nous sommes rendues dans la région de Bokito, accompagnées dans un premier temps par notre collègue Patrick Jagoret (UR34), agronome spécialiste du cacao en poste à Yaoundé et dont les dispositifs sont localisés dans cette région.

Nous y avons rencontré les planteurs de cacao regroupés en GIC (groupements d'intérêt commercial) eux-mêmes fédérés sous l'égide de la FUPROCAM (Fédération des Unions de PROducteurs de CACAO du Mbam et Inoubou) et en particulier Jean-Paul Bidias (notre hôte durant la mission de terrain), président d'Ugicabo (zone de Bokito) et Patrice Assiéné, président d'Ugicagué (zone de Guéfigué). Ces zones correspondent à l'emprise de notre image de travail. Nous leur avons présenté le projet de thèse de Manuel Castela concernant la caractérisation de la structure de plantation des systèmes agroforestiers de la zone Bokito/Ombessa par télédétection à très haute résolution spatiale. Nous avons expliqué rapidement le principe de la télédétection et les outils que nous souhaitons mettre en œuvre, ainsi que les produits que nous espérons obtenir des analyses par télédétection dans le cadre de cette thèse et au-delà (projet EuropeAid en particulier, et de manière plus générale les objectifs de recherche en partenariat avec UMR SYSTEM, UR 34 et UR 31 notamment). Nous avons aussi présenté le type de mesures et d'enquêtes que nous pensions avoir à mettre en œuvre au sein de leurs parcelles durant notre mission et celle, plus longue, de M. Castela.



Figure 1: P. Jagoret explique aux planteurs le principe de l'enquête de vérité terrain pour la télédétection et les initie à la photo-interprétation de l'image à partir de leur habitation et de leurs parcelles. Sur le côté : logo de la Fuprocam.

Nous avons ensuite visité avec les planteurs cinq cacaoyères traditionnelles aux alentours du village de Bakoa, présentant des types contrastés de systèmes de culture ou de gestion, accompagnées de P. Jagoret qui nous a exposé les principes de gestion et les historiques de ces parcelles.

Globalement, par rapport aux différents systèmes de cultures en agroforesterie dans lesquels nous avons eu l'occasion de travailler dans d'autres régions du monde (ex : Ouganda, Indonésie), ces parcelles nous sont apparues comme plus « anciennes » de part la taille impressionnante des arbres fruitiers comme des essences forestières, ainsi qu'un aspect plus « désorganisé », les rendant assez comparables à ce que nous avons pu rencontrer en Guinée forestière. C'est tout d'abord la **très grande variété et diversité d'arbres** de différentes natures et fonctions (bois d'œuvre, bois de chauffe, fruitiers divers, arbres à vertus médicinales, arbres à vertus fertilisantes, etc...) agencés sur plusieurs strates verticales et distribués sur l'ensemble de la parcelle, qui marque les premières observations de terrain (cf. *Figure 2*). Dans ces parcelles de type traditionnel, cette diversité végétale se rencontre à tous les stades de développement du cacaoyer, aussi bien récemment installé que déjà productif depuis plusieurs années.



Figure 2 : Illustration de la diversité d'espèces associées aux cacaoyers, à tous leurs stades de développement: encore jeunes sur la photo de gauche, déjà productifs sur la photo de droite.

Pourtant, sous cet apparent « fouillis végétal », on rencontre une véritable **agriculture de précision**, ultrafine, à l'échelle de l'arbre individualisé voire quasiment *personnalisé*. Cette gestion concerne aussi bien l'apport de matière organique, le traitement contre les mirides ou la récolte que l'implantation ou la suppression d'une entité. On peut citer par exemple le réglage fin de l'ombrage par élimination de certains arbres (comme l'arbre écorcé de la photo de la *Figure 3*, qui va progressivement sécher et tomber pour créer une trouée dans la canopée) accompagnée parfois d'une re-densification en cacaoyers (cf. *Figure 4*), ou l'introduction progressive de nouvelles essences (cf. *Figure 5*). Cette gestion à l'échelle de l'arbre introduit une très forte hétérogénéité du couvert, qui se retrouve même au niveau de l'âge des cacaoyers en raison de leur renouvellement progressif et du recépage au cas par cas (cf. *Figure 6*). Ainsi, il est très difficile d'évaluer l'âge du peuplement d'une parcelle, et ce quelle que soit la strate analysée; les planteurs en disent parfois « qu'ainsi une cacaoyère ne vieillit pas »...



Figure 3 : Exemple de plantation régulière de cacaoyers cachée sous l'apparence d'un « fouillis végétal » (les photos de droite et de gauche représentent la même parcelle selon deux angles de vue différents).



Figure 4 : Illustrations de l'hétérogénéité d'âges des cacaoyers rencontrée dans les plantations traditionnelles : à gauche, un exemple de trouée dans la canopée d'ombrage, accompagnée d'un renouvellement des cacaoyers ; à droite : un jeune cacaoyer entouré d'arbres déjà âgés.



Figure 5 : Jeunes bananiers et palmiers implantés dans une trouée au sein d'une cacaoyère.



Figure 6 : Parcelles « âgées » comportant une variété de modes de « rajeunissement » de la cacaoyère résultant en une diversité d'âges importante. Le recépage à la base des pieds de cacaoyers est notamment bien visible sur la photo de droite.

La constitution « type » de ces parcelles agroforestières à base de cacaoyer peut être schématisée de la façon suivante (cf. *Figure 7*) :

- 1) les cacaoyers composent la strate inférieure, pouvant atteindre 5 à 6 mètres de haut ;
- 2) une strate médiane, correspondant au niveau 5 à 10m, est généralement composée de fruitiers divers;
- 3) les arbres d'essence forestière ou les fruitiers « natifs » de la forêt composent la strate supérieure, commençant généralement à plus de 10 mètres de haut et pouvant atteindre 20 à 50 mètres de hauteur !

Bien entendu, ce schéma peut être très variable selon la composition de la parcelle en termes d'abondance des différentes espèces et des âges respectifs des différents arbres ou de la parcelle elle-même. Ainsi, par exemple, certains manguiers peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres de haut et se trouver dans la strate supérieure, alors que des régénérations d'essences forestières peuvent ne pas dépasser les houppiers des cacaoyers.

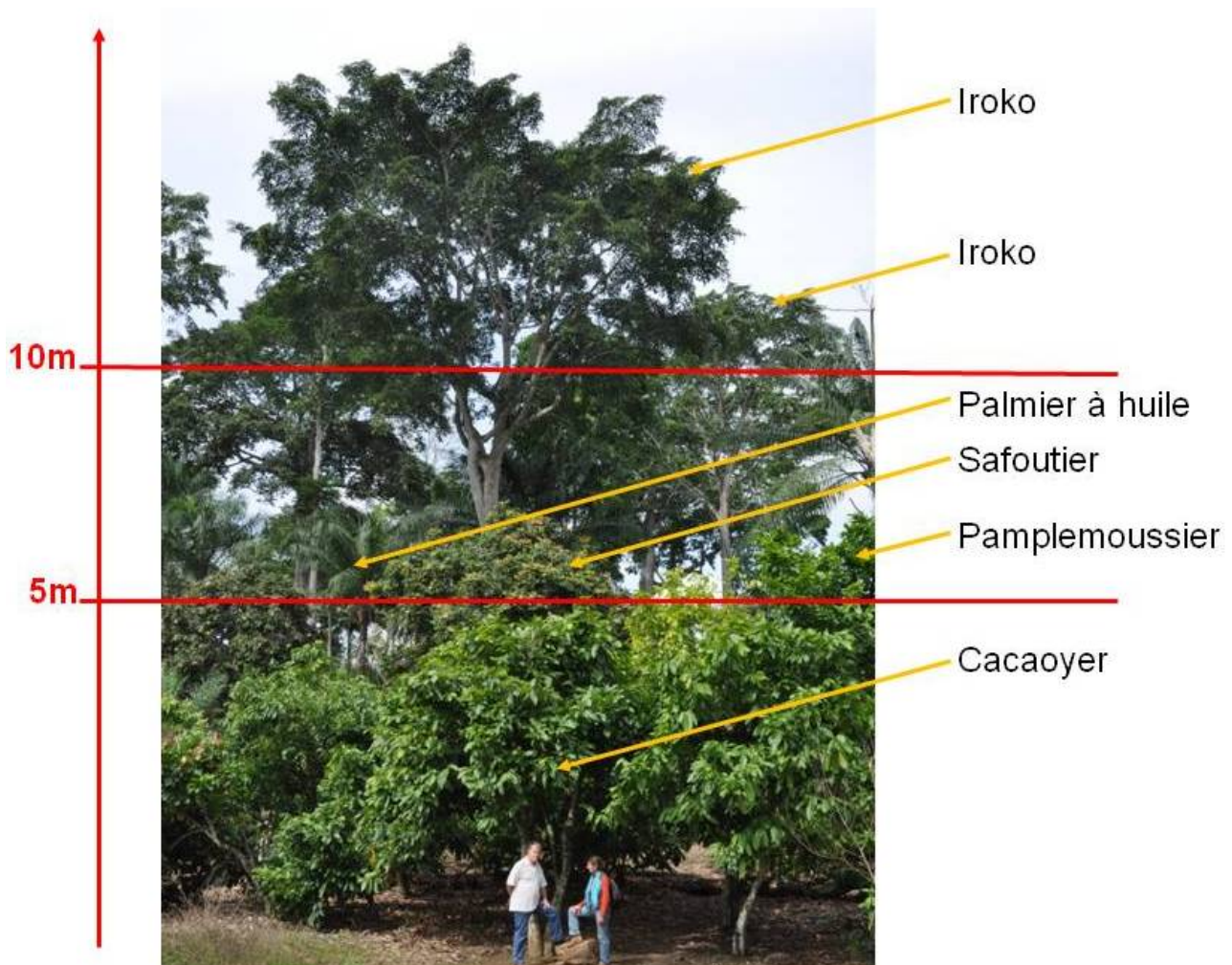


Figure 7: Identification des trois strates verticales majeures composant un système agroforestier à base cacao traditionnel typique de la région d'étude (Bakoa, près de Bokito).

Nous avons aussi visité plusieurs parcelles implantées dans la région par Raymond Bourgoing (UR34) selon un dispositif plus « moderne ». Celles-ci suivent au départ un schéma d'implantation bien défini et régulier, associant des cacaoyers plantés en ligne avec un nombre limité d'espèces : palmier ou agrume, parfois en association avec du bananier. Dans la réalité, il apparaît qu'au bout d'une dizaine d'années la structure de ces plantations s'effiloche pour plusieurs raisons : variabilité de développement physiologique du cacaoyer au travers de la parcelle (foyers d'attaques de mirides, compétition avec *Imperata* ou autres herbes envahissantes, différents niveaux d'ombrage, carences nutritionnelles localisées, etc...), variabilité de développement des espèces associées, gestion d'un arrachage/replantation suivant les méthodes traditionnelles avec implantation de nouveaux fruitiers (papayer, avocatier...) voire d'essences d'arbre à croissance plus lente, etc... Aux dires des planteurs, ces systèmes semblent plus « fragiles » ou sensibles aux différents aléas, résultant en des causes diverses de problèmes de croissance ou de production, localement variables, et donc une déstructuration progressive de la parcelle.

En conclusion de ces observations d'ordre général, il nous semble que la structure d'une plantation agroforestière à base de cacaoyers dans la région de Bakoa est vraiment liée à un mode de culture et à une gestion particulière, beaucoup plus qu'à l'âge de la cacaoyère par exemple. Ces visites nous ont confirmé que la télédétection à très haute résolution spatiale peut être un outil très utile pour établir une typologie basée sur un critère donné : la structure de la strate dominante, et pour analyser cette structure elle-même (caractérisation, évaluation). Toutefois, de par la complexité du terrain et de la problématique associée, la nature de pure recherche méthodologique amont à l'utilisation des images de télédétection est bien affirmée, les outils existants ne permettant pas de fournir des informations pertinentes au regard du contexte étudié et l'approche de ces systèmes paraissant assez difficile (hétérogénéité, variabilité, complexité, plus la difficulté de bien identifier les strates de végétation et l'impossibilité de voir les cacaoyers eux-mêmes dans la plupart des cas). Par ailleurs, il apparaît que les outils de diagnostic agronomique adaptés à ces systèmes de culture sont aussi à développer pour permettre de mieux comprendre et d'évaluer de façon pertinente ces systèmes, et pour mieux cibler les besoins et les attentes vis-à-vis de la télédétection. Notre projet de recherches en collaboration serrée et interaction forte entre des agronomes et des spécialistes en télédétection est donc un contexte idéal pour avancer de concert dans la mise au point de ces différents outils, en bénéficiant en temps réel des réflexions et avancées méthodologiques de chacune des parties.

1) Appui à la thèse de M. Castela

A notre arrivée sur le terrain, Manuel Castela aurait dû avoir travaillé deux semaines au village de Bakoa sur la mise en place de sa campagne et sur son protocole d'enquête et de mesures. L'objectif de notre mission sur le terrain était de lui apporter un encadrement en situation et répondre à ses éventuels questionnements ou problèmes pratiques afin de valider son protocole. En fait, il n'y avait effectivement passé que deux journées entières, durant lesquelles il avait visité cinq parcelles agroforestières de deux types de systèmes : cacaoyères traditionnelles d'une part et gérées selon un dispositif « moderne » d'autre part.

Il s'était aussi essayé au repérage des couronnes des arbres sur l'image satellite à partir du terrain et d'un plan parcellaire existant fourni par P. Jagoret, sans succès selon ses termes. Il nous est apparu évident que cette action n'était effectivement pas possible dans la pratique dans la mesure où le matériel préparé par M. Castela à cet effet n'était pas adapté, à savoir des impressions sur papier A4 de parcelles en fausses couleurs (composition infrarouge) avec un facteur de zoom ne permettant pas de bien voir les arbres individuels, ceux-ci apparaissant comme de petits confetti quasiment uniformes de trop petite taille (de l'ordre 3 à 5 mm de diamètre) (cf. *Figure 8*).

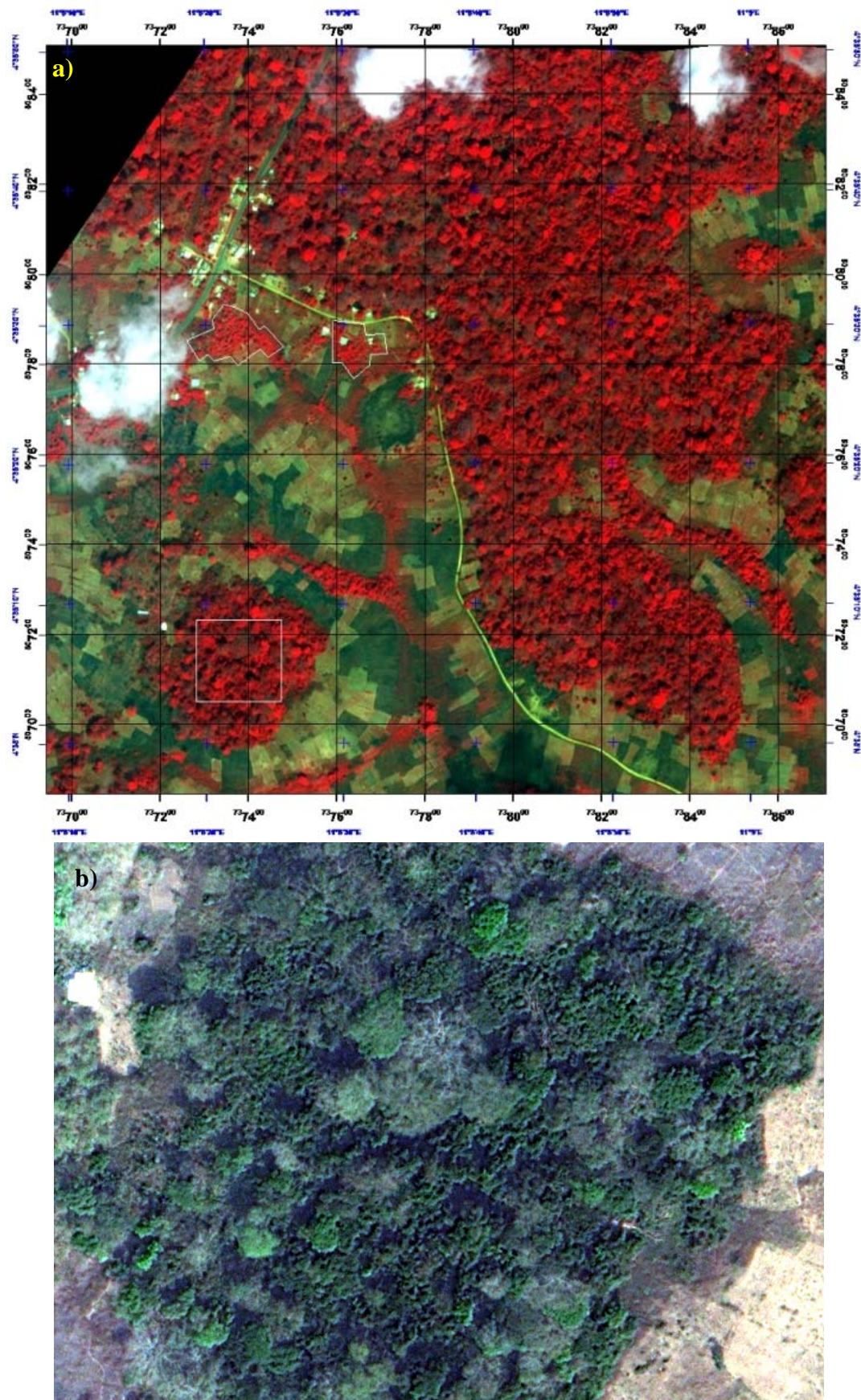


Figure 8 : a) Exemple de matériel préparé par M. Castela pour un repérage d'arbres et la cartographie intraparcellaire sur le terrain. b) Matériel disponible sur la même zone (parcelle marquée d'un cadre blanc sur l'image présentée en a).

Par ailleurs, M. Castela n'avait pas encore manipulé le télémètre laser, emmené à des fins de cartographie intraparcellaire, dans les conditions propres à son terrain afin d'évaluer sa faisabilité et, au regard du contexte en présence (milieu hétérogène à végétation dense, canopées élevées et croisées, voire superposées), n'avait aucun protocole de mesure adapté à proposer. Il nous est apparu évident que cet instrument ne pourrait pas être utilisé dans la plupart des conditions rencontrées, en raison de l'accumulation de troncs ou de canopées diverses sur la trajectoire du faisceau laser, et ce quelle que soit la perspective dans laquelle pourrait se placer l'utilisateur. Seules des parcelles très simples et peu denses pourraient à la rigueur en bénéficier, ce qui restait encore à prouver par la pratique. Nous l'avons donc incité à abandonner cette approche et à réfléchir à un protocole plus adapté au terrain d'étude.

Enfin, le doctorant n'a pas proposé d'idée sur la typologie des différents systèmes rencontrés dans la zone ni sur la manière de caractériser les différentes strates des systèmes cacaoyers. Il est apparu qu'il n'avait pas encore lu la littérature que nous lui avons fournie dans le domaine, ni fait des recherches bibliographiques personnelles sur le sujet. Il ne s'était pas non plus livré aux expériences d'analyse de l'image satellite à très haute résolution suggérées lors de son comité de pilotage ou lors de la période de préparation de la mission (apprentissage « par cœur » par photo-interprétation d'une petite zone pour s'en imprégner avant d'avoir la confrontation avec le terrain, ébauches de classifications non supervisées pour comprendre les attributs possibles de la complexité de structure, extraction de parcelles illustrant la diversité des situations en présence pour comprendre la répartition possible des formes de couverts, etc...).

Force est de constater que le travail préliminaire d'appréhension du sujet d'étude et surtout de préparation de la mission n'a pas été effectué de manière satisfaisante, sur aucun des aspects qui auraient dû être couverts : bibliographie, test des instruments de mesure, traitement préliminaire de l'image, préparation des outils de télédétection sur le terrain (impressions de l'image suffisamment zoomée et avec les coordonnées géographiques lisibles...), réflexions sur une démarche d'enquête. Le travail prévu lors des deux premières semaines de mission n'a pas non plus été réalisé ni même ébauché. En outre, M. Castela n'a pas passé plus d'une heure sur le terrain avec nous pour des raisons personnelles.

Au lieu de participer aux réflexions de M. Castela sur son terrain, répondre à ses questionnements éventuels et valider ou compléter son protocole, nous avons donc dû mettre nous-mêmes en place ce protocole, le tester et le valider, en 5 jours seulement et en son absence. Nous avons dans le même temps dû former un technicien de l'IRAD (Emmanuel Bouambi) à mettre en œuvre ce protocole et ce recueil de vérité-terrain afin de pouvoir transférer cette méthodologie à M. Castela voire de faire à sa place le travail si nécessaire (la poursuite ou non de la mission de M. Castela était à ce moment-là une inconnue).

Enfin, nous avons transmis ce protocole à M. Castela le dernier jour de notre mission, durant une réunion de 4 heures au bureau à Yaoundé, suivie d'une heure d'application dans une parcelle expérimentale de cacao à l'IRAD. A l'issue de cette formation « éclair », nous lui avons suggéré un planning de campagne afin de le focaliser sur la récolte du nombre nécessaire d'informations pour la poursuite de sa thèse, suivant les priorités apparaissant compte tenu du temps restant pour la mission. Il est clairement apparu qu'un certain nombre de manip prévues, telle que la cartographie intraparcellaire des couronnes d'arbres sur un jeu de parcelles permettant de valider les produits issus de la segmentation par la méthode des ondelettes, ne pourrait malheureusement pas être mises en œuvre durant le temps imparti. M. Castela a reconnu qu'il n'avait pas bien préparé sa campagne de terrain ni même beaucoup avancé sur son travail de thèse en général ; il nous a assuré qu'il était à

présent motivé, prêt à se ressaisir et à mettre en œuvre de manière active la suite de sa mission afin de répondre aux objectifs attendus.

Les paragraphes suivants décrivent les protocoles proposés pour chacune des catégories d'information à recueillir, résultant de notre travail sur le terrain pendant cette mission, ainsi que les premiers résultats que nous avons pu en tirer. Il appartient à Manuel Castela de les adapter en fonction des circonstances qu'il rencontrera, dans la mesure où le peu de temps que nous avons passé sur le terrain ne nous a permis ni d'appréhender un maximum de situations et de contextes ni d'avoir assez de recul pour être sûres que ces protocoles sont pertinents.

2) Identification de types d'occupation du sol non photo-interprétables

Une étude préliminaire de l'image satellite acquise sur la zone ayant pour but d'en comprendre l'occupation et l'utilisation du sol nous a montré un certain nombre de surfaces végétales d'apparence peu commune et difficile à photo-interpréter pour en identifier la nature. Il est donc important de se rendre sur place afin de décrire ces types de couverts, d'en comprendre et d'apprendre les clefs d'interprétation sur l'image, pour une bonne caractérisation des différents systèmes de culture présents dans la zone.



Figure 9 : Photographie illustrant le repérage sur l'image satellite des zones à visiter pour leur interprétation.

Outre la reconnaissance de différentes parcelles agroforestières (SAF) de types variés pour essayer d'établir un début de typologie des SAF rencontrés, nous sommes allées en reconnaissance de 3 types de structures qui nous interpelaient plus particulièrement.

a) Des cacaoyers plantés en « triple rangs » et exposés en plein soleil

Sur l'image satellite en couleurs naturelles (cf. *Figure 10*), il apparaît nettement une structure de 4 bandes de « triple rangs » d'arbres plantés régulièrement, tous les 2,5 à 3m, avec des couronnes plutôt circulaires qui ne se touchent pas tout à fait. Ces bandes arborées sont séparées les unes des autres par une bande de sol nu de trois mètres de large.

Il s'agit d'une cacaoyère plantée selon un dispositif moderne (cf. *Figure 11*) mais sur laquelle tous les cacaoyers sont exposés en plein soleil. On observe une nette hétérogénéité d'âges parmi les cacaoyers, certains présentant en outre une carence azotée liée à la compétition avec *Imperata* (actuellement en cours de contrôle avec de l'herbicide). Le sol nu visible en février sur l'image est à présent recouvert d'*Imperata Cylindrica* et quelques palmiers très jeunes tout juste implantés sur la parcelle.



Figure 10 : Image satellite en couleurs naturelles d'une parcelle de cacaoyers plantés selon un dispositif moderne incomplet (palmiers manquants) et exposés en plein soleil.



*Figure 11 : Photographies de terrain des cacaoyers représentés à la Figure 10 : à gauche, un cacaoyer au centre du triple rang et, à droite, la bande intercalée recouverte d'*Imperata* avec un très jeune palmier (non planté à l'époque d'acquisition de l'image) au centre.*

Une autre parcelle (pas très éloignée géographiquement) présente un agencement de petits arbres (1,2 à 1,5 m de diamètre) plantés en grille de 3m sur le rang comme l'inter rang (cf. *Figure 12*). Il s'agit d'une parcelle de cacaoyers plantés en plein soleil. La parcelle qui lui est connexe (par le bord est) présente quant à elle des arbres encore plus petits plantés en triple rangs et intercalés d'un rang

d'arbres plus gros (environ 4 m de diamètre) plantés tous les 7,5 m sur la ligne Il s'agit d'une cacaoyère plantée suivant un dispositif moderne en association avec des palmiers (cf. *Figure 12*).



Figure 12 : Image satellite en couleurs naturelles d'une parcelle (à gauche) de cacaoyers plantés en grille et en plein soleil et d'une autre parcelle (à droite) suivant un dispositif moderne en triple rang intercalés d'un rang de palmiers.



Figure 13 : Photographies de terrain des cacaoyers représentés à la Figure 12: à gauche, cacaoyers en plein soleil plantés en grille et, à droite, dispositif moderne planté très récemment (petits cacaoyers) en association avec des palmiers.

b) Des zones désherbées pour implanter de jeunes palmiers

On observe sur une parcelle en bord de route (cf. *Figure 14*), recouverte en majorité par des herbacées, des bandes de sol nu de 4m de large, espacées de 10m. Sur ces bandes se trouvent des cercles de sol totalement nu très réfléchissant, d'environ 3,8m de diamètre, espacés de 9m les uns des autres le long d'une bande. Il s'agit de la préparation pour une plantation de palmiers à huile très jeunes (cf. *Figure 15*), aux dires de notre accompagnateur appartenant à la famille du propriétaire: à l'emplacement de chaque futur palmier on applique un traitement chimique (RoundUp) sur une surface circulaire assez large afin d'éliminer radicalement et pour longtemps toute végétation et ainsi limiter la compétition avec les jeunes plants. Au jour de l'enquête de terrain, les palmiers avaient été plantés très récemment et le reste de la parcelle était envahie

d'*Imperata Cylindrica*. On peut noter que le sol de cette parcelle est de nature gravillonnaire, assez pauvre, ce qui explique la forte réflectivité de cette surface.

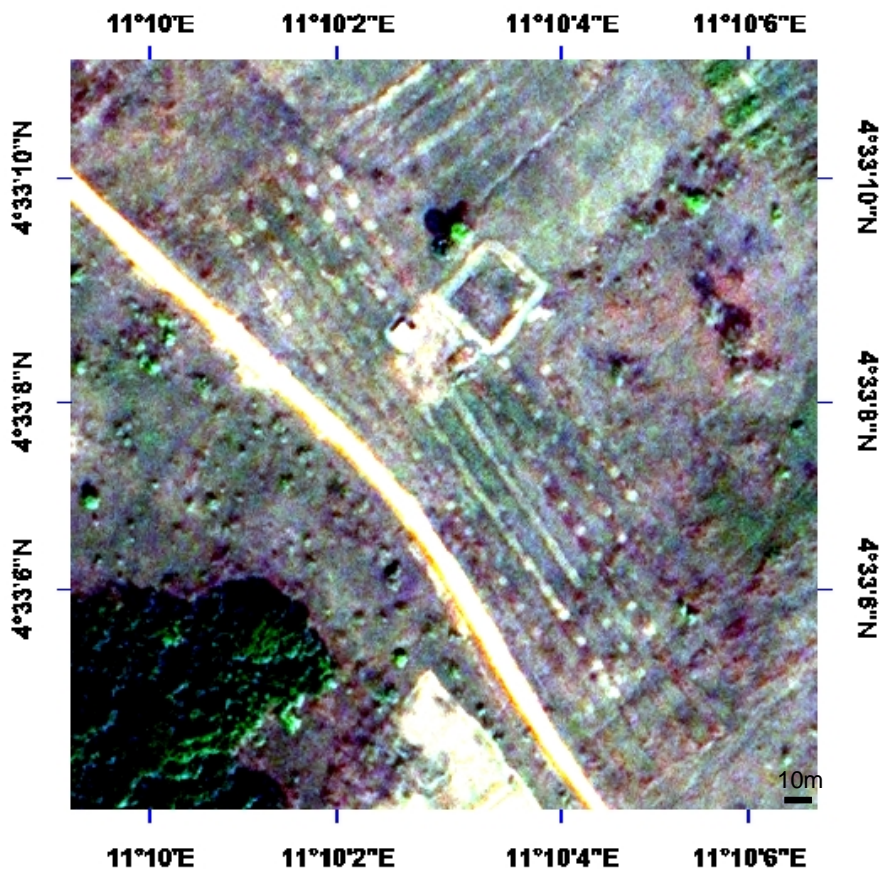


Figure 14: Image satellite en couleurs naturelles d'une parcelle présentant des zones circulaires de désherbage en préparation à l'implantation de jeunes palmiers.



Figure 15 : Très jeunes palmiers tout justes plantés au centre de cercles désherbés chimiquement correspondant à la parcelle présentée sur l'image satellite de la Figure 14, les palmiers n'avaient pas encore été plantés au moment de l'acquisition de cette dernière.

c) Des tarodières surélevées en zones humides

Des structures très particulières apparaissent sur l'image (cf. *Figure 16*) en zone vivrière (bordure de savane et poches dans la savane). Ce sont des anneaux rectangulaires couverts de végétation, d'environ 5 m par 10 m de côtés, au creux desquels il n'y a pas de végétation, séparés les uns des autres par du sol nu. La présence d'ombres laisse supposer un certain relief de ces structures. Il s'agit en fait de cultures vivrières et en particulier de tarodières surélevées sur des talus bordés de

manioc (cf. *Figure 17*). Le manioc étant récolté peu souvent (tous les 2 ou 3 ans) et ayant donc des tiges très longues (environ 2 m), il projette des ombres sur la partie centrale du talus, au sein de laquelle la végétation est beaucoup plus courte. A la date d'acquisition de l'image, le taro n'avait pas encore été mis en place.

Ces motifs sont présents en zones humides (zone GIOYE cf. Michel 2010) qui conviennent à la culture du taro à condition de faciliter l'écoulement de l'eau pour en empêcher la stagnation, synonyme de pourriture des tubercules, mais rarement pour les autres cultures vivrières.

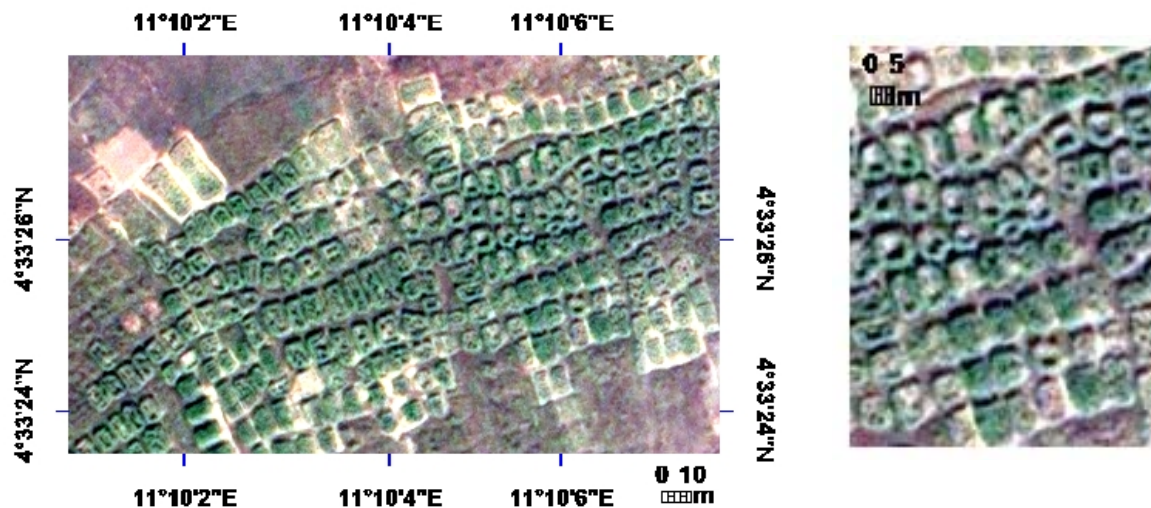


Figure 16: Image satellite en couleurs naturelles de tarodières surélevées en zones humides et bordées de manioc. Le taro avait été récolté et pas encore replanté lors de l'acquisition de cette image.



Figure 17: Tarodières et autres cultures vivrières cultivées sur talus surélevé et bordé de manioc, apparaissant sur l'image satellite de la Figure 16.

3) Identification d'arbres individualisés pour une reconnaissance multispectrale

Parmi le potentiel informatif des produits issus de la télédétection multispectrale à très haute résolution spatiale se trouve la possibilité de repérer et identifier des arbres « isolés », ou du moins

individualisés sur l'image satellite, à partir de leur signature spectrale. Afin d'évaluer le pouvoir discriminant à cet égard des données actuellement disponibles (huit bandes WorldView2), il est donc nécessaire d'établir une base de données spectrales sur le maximum d'essences d'arbres présentes dans l'image, permettant l'apprentissage de classifications automatiques d'arbre dans le cas où ces signatures seraient effectivement de nature descriptive et discriminante.

La base de travail est une impression en couleurs réelles de l'image satellite, bien zoomée de façon à y voir clairement les arbres (au format A3) et comportant une grille géographique pour un repérage facile des zones de travail au moyen du GPS.

Pratiquement, sur le terrain, cette identification s'est opérée de la manière suivante :

1. circulation dans différents massifs arborés en compagnie d'un botaniste local (Mballa),
2. repérage d'arbres bien individualisables sur l'image et repérables sans erreur sur le terrain,
3. information de l'espèce en présence ainsi que des éventuelles utilisations de cette espèce (bois d'œuvre, de chauffe, vertus médicinales, utilité fertilisante, poison, fruits comestibles, etc...),
4. collage d'une « gommette » de couleur à l'emplacement de l'arbre sur l'image,
5. inscription d'une initiale correspondant au nom de l'espèce,
6. inscription dans le carnet de terrain du nom entier de l'espèce, associé à l'initiale utilisée sur la gommette,
7. photographie de l'arbre et de ses attributs de reconnaissance (feuilles, fruits, etc...) s'il s'agit d'une espèce non encore rencontrée.



Figure 18 : Impression sur papier au format A3 de zones d'intérêt de l'image satellite en couleurs naturelles, suffisamment zoomée pour bien localiser les arbres, sur laquelle des gommettes de couleur marquées d'une initiale ont été collées à l'emplacement des arbres identifiés sur le terrain.

Les différents types d'arbres identifiés lors de cette reconnaissance préliminaire sont listés dans la table 1. Les noms d'espèce sont généralement donnés sur le terrain en langage vernaculaire (patois Yambassa) et doivent faire l'objet d'une traduction en latin, ou au minimum en langage courant, afin de bien spécifier les espèces concernées et avoir une base de discussion universelle. Par exemple, nous pourrions nous référer à l'annexe 7 du mémoire de Charly Anicet Messie (2007), qui contient un lexique de ces espèces en différentes langues vernaculaires et en latin (tableau mis en annexe de ce rapport).

Cela nous a permis en outre d'apprendre qu'un certain nombre d'arbres perdent leurs feuilles en saison sèche et sont défoliés à la période d'acquisition de l'image (21 février). Il s'agit en particulier du fromager, dont le squelette apparaît clairement sur l'image (cf. *Figure 19*). Ou encore l'empagna et le cassamangue. Toutefois, certains fromagers ont pu conserver leurs feuilles, notamment s'ils n'ont pas produit de kapok, ce qui se retrouve aussi sur l'image ; le seul caractère décisif n'est pas un critère unique à prendre en compte dans le repérage de ces arbres mais il peut largement y contribuer. Par ailleurs, il nous est apparu *a posteriori* de notre séjour sur le terrain que les habitants locaux confondent complètement les deux espèces kapokier et fromager, alors que ce sont deux essences de phénologies différentes même si elles appartiennent à la même famille. Il faudra donc éclaircir par des moyens ancillaires la réelle identité des fromagers/kapokiers relevés sur le terrain, ou les amalgamer dans une seule classe d'arbre.



Figure 19 : Les fromagers (ou kapokiers?) se repèrent très facilement dans l'image en raison de leur taille imposante, leur situation dominante dans la canopée et surtout de leur caractère décidu en février : seul leur squelette apparaît dans l'image.

Squelette des fromagers
(ou kapokiers ?) décidus

Figure 20 (page suivante): Quelques photographies prises sur le terrain pour renseigner la physionomie des arbres repérés.



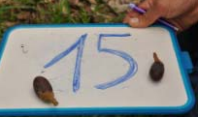









Okagala		Edjefoc (guifouguèné)	
Canarium 		Casmango (cassamangue)	
Ekekam (bossambia)		Elelom zam (guètè)	
Parassolier (guésinguè)		Evino (bonênè) 	
Bangbaye (ompagna)		Manguier	

Table 1 : liste des essences rencontrées sur le terrain et nombre d'arbres repérés sur l'image satellite pour chacune de ces espèces.

Nom vernaculaire Yambassa	Nom pilote	Nom scientifique	Photo	Nb d'arbres repérés
<i>Essences forestières :</i>				
?	Acacia	?	non	1
Bossambia	Ekekam	Ficus sur forssk	oui	3
Bouanca	Pachis	Afzelia pachyloba	non	1
Bougodè	indéterminé	Cola millenii K. Schum	non	1
Bougoumé (parfois appelé baobab)	Fromager	Ceiba pentandra (L.)	non	6
?	Kapokier	Bombax buenopozense P. Beauv.	non	
Empagna / Ompagna	Bangbaye	Albizia adianthifolia (Schumach.) W. Wight	oui	1
Guéba / Guébabê	Cordia d'Afrique	Cordia platythyrsa Baker	non	1 (non isolé).
Guébotso	Figuier	Ficus mucoso Ficalho	non	
Guessengué / Guésinguè	Parassolier	Musanga cecropioides R. Br.	oui	1
Guétégakounou / Guètè	Elelom zam	Anthocleista vogelii Planch	oui	3
Guéyiéna / jansen	Njansang	Ricinodendron heudelotii (Baill.) Pierre ex Heckel	non	1
Guifouguèné	Edjefoc	Sterculia tragacantha	oui	1
Guilime	Dabema	Piptadeniastrum africanum (Hook. f.)	non	1
Guilôbio	Teck	Tectona grandis	non	1 (+1 massif)
Guimkoumou / Guinkoungou	Atom koe	Pseudospondias microcarpa (A. Rich.) Engl.	non	1
Okabot	?	?	non	3
Okagala	?	?	oui	3
Oukolo	Ayous	Triplochiton scleroxylon	non	2
Talu	Tali	Erythrophleum ivorense A. Chev.	non	2
Tchônou / Ngombè	Iroko	Milicia excelsa (Welw.) Berg	non	8

<i>Fruitiers :</i>				
Bofia	Avocatier	Persea americana Mil.		1
Bonéné	Evino	Vitex grandifolia Gürke		10
Boubénou	Colatier	Cola nitida (Vent.) Schott & Endl.	non	
Boufédou	Canarium	Canarium schweinfurthii Engl.		1 ou 2
Boukôdo	Safoutier	Dacryodes edulis (G. Don) H. J. Lam	non	6
Boulondo	Manguier (plusieurs variétés)	Mangifera indica L.		17
Cassamangue	Casmango	Spondias cytherea Sonn		1
Jangassanga	?	?		1
	Pamplemoussier	Citrus grandis (L.) Osbeck	non	1
	Goyavier	Psidium guajava L.	non	
<i>Palmacées :</i>				
?	Cocotier	Cocos Nucifera L.	non	3
Ibile	Palmier à huile	Elaeis guineensis Jacq.	non	13
?	Rônier	Borassus Aethiopium	non	4
<i>Cacaoyers :</i>				
En plantation traditionnelle : en majorité Amelonado plus quelques hybrides ; dans les plantations modernes : hybrides seuls		Théobroma cacao	oui	

Table 1 (suite): liste des essences rencontrées sur le terrain et nombre d'arbres repérés sur l'image satellite pour chacune de ces espèces.



Figure 21 : Exemple d'arbres repérés sur le terrain et identifiables dans l'image satellite : encerclé en bleu marine un pamplemoussier, en bleu clair quatre palmiers, en jaune quatre manguiers, en blanc trois safoutiers, en rouge deux evinos (bonênê), en magenta un ekekam (bossambia).

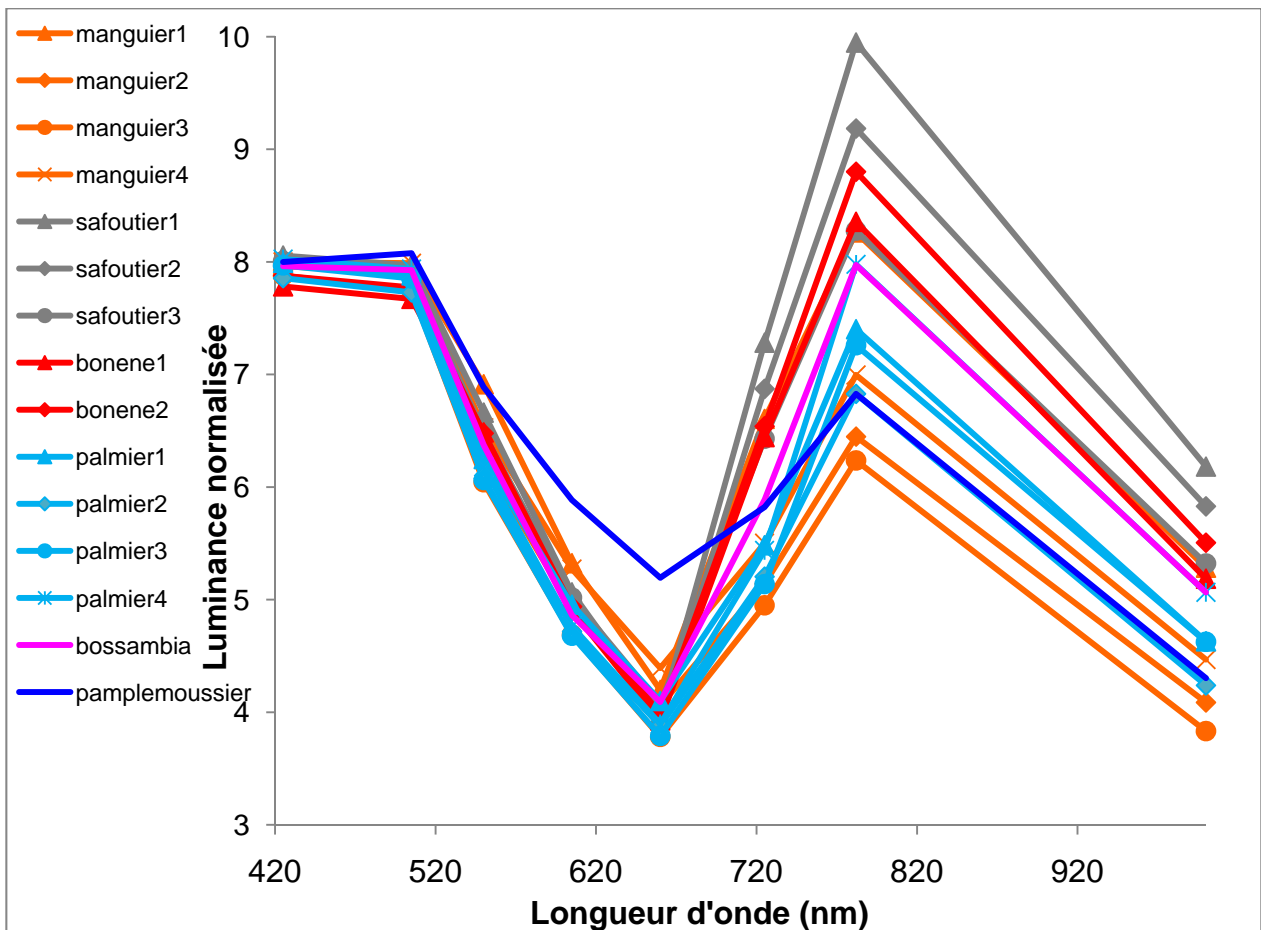


Figure 22 : Signature spectrale (en luminance seulement) extraite de l'image Worldview2 des arbres identifiés à la Figure 21. Les arbres de même espèce sont représentés avec une même couleur.

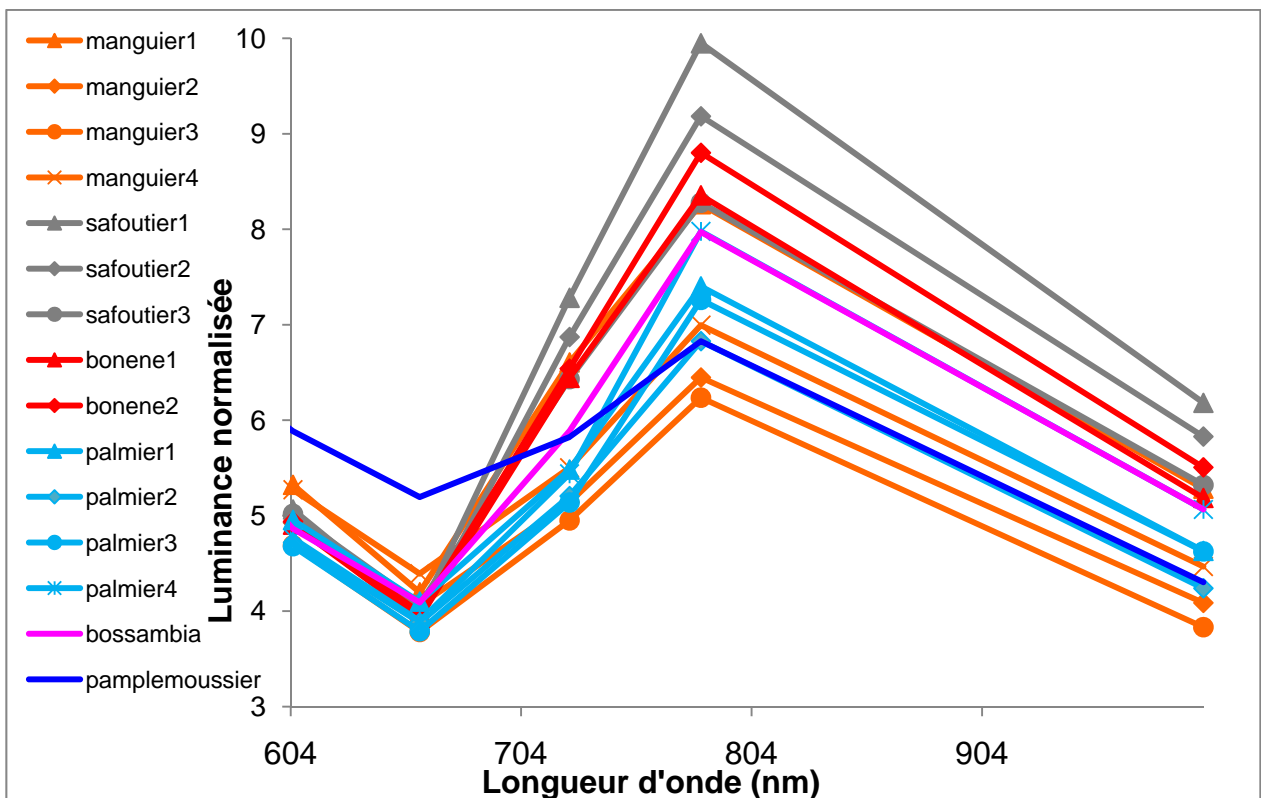


Figure 23 : Zoom entre 600 et 1000nm de longueur d'onde du graphe de la Figure 22

La *Figure 21* présente quelques exemples d'arbres identifiés sur le terrain tels qu'ils apparaissent sur l'image satellite. La très grande précision de cette image, qui permet de voir l'arbre avec beaucoup de détails, apporte aussi beaucoup de bruits perturbants (comme par exemple toutes les ombres portées au sein de la canopée, ou des canopées sur les surfaces sous-jacentes) pour bien appréhender les contours de ces objets sans forme bien définie. Il apparaît donc très difficile de délimiter de façon rigoureuse la couronne de ces arbres de façon « arbitraire ». On voit bien ici l'intérêt de développer des méthodes automatiques, basées sur l'interprétation mathématique de l'objet, de délimitation des arbres pour permettre d'en extraire rapidement et rigoureusement la signature spectrale à partir de l'image. La *Figure 22* (zoomée à la *Figure 23*) donne les signatures spectrales de ces différents arbres s'ils pouvaient être assimilés, de façon très simpliste, à des ellipses. On peut remarquer que les signatures des arbres appartenant à une même espèce semblent relativement comparables, avec une forme très similaire et une assez faible variation de l'intensité. Le pamplemoussier a en outre une signature bien distincte de tous les autres arbres. Il semble donc possible d'attribuer une gamme de signatures spectrales à chaque espèce. Toutefois, les enveloppes des différents spectres se chevauchant largement, cette gamme risque probablement de ne pas être discriminante (c'est-à-dire permettre d'identifier à coup sur une espèce uniquement à partir de son spectre). Seule l'analyse spectrale de tous les échantillons récoltés en fin de mission de M. Castela, c'est-à-dire du maximum d'espèces avec plusieurs représentants par espèces, permettra de proposer ou non un moyen d'identifier ou de classer les arbres d'après leur signature spectrale. En effet, le chevauchement des classes spectrales étant déjà fort avec six espèces, il risque de devenir inextricable avec la vingtaine d'espèces attendues. On pourra aussi s'orienter vers des regroupements d'espèces en familles spectralement discriminables si c'est plus envisageable. Par ailleurs, la nécessité de transformer la donnée de luminance en réflectance calibrée (au dessus de l'atmosphère au minimum) apparaît clairement, pour permettre une vraie analyse spectrale quantitative et notamment l'application d'outils de discrimination spectraux performants.

Concernant plus particulièrement les cacaoyers, nous avons remarqué une grande variabilité de la couleur du feuillage des individus exposés en plein soleil (sans arbres au dessus) qui pourrait se retrouver dans la signature spectrale de ces arbres. Ces variations sont principalement dues à :

- des carences azotées (feuillage très jaune)
- des attaques de mirides (feuillage desséché, le cacaoyer est généralement très défolié)
- une intensité variable du flush (teinte rouge des jeunes feuilles)

Sur ce dernier point en particulier, on pourrait définir un indice de vigueur du cacaoyer, lié à sa capacité de production de nouvelles feuilles, donc à une abondance supérieure de la coloration rouge. Toutefois, il apparaît que le flush peut aussi se produire en réaction à une attaque de mirides décorrélée de la vigueur physiologique de la plante mais en lien avec une attaque de parasites. L'interprétation d'un flush n'est donc pas unique et il faudrait l'associer à des informations sur le cycle de foliation des cacaoyers, par exemple, pour qu'elle soit valable. Mais l'analyse de ces variations de couleur, donc intrinsèquement de signature spectrale, des cacaoyers est une piste à creuser pour tenter une approche de diagnostic agronomique de l'état des cacaoyers. Il faudrait pour cela mettre en place un protocole strict de repérage précis de cacaoyers dans différents états bien décrits, associé éventuellement de mesures de spectroradiométrie de terrain (ASD-FieldSpec), et d'extraction de signatures spectrales associées dans l'image. Cela pourrait constituer un projet de recherche en soi, qui pourrait inclure un volet nutrition, un volet ravageurs, mais aussi un volet

phytopathologie. Toutefois, rappelons que cette approche sera très limitée spatialement en raison du faible nombre de cacaoyers visibles par télédétection, c'est-à-dire sans arbre au dessus d'eux.

En conclusion, un grand nombre d'arbres connus pour être présents dans cette région n'ont pas pu être identifiés lors de notre mission. On peut citer par exemple les différents agrumes (un seul pamplemoussier repéré) et les avocatiers, et les autres arbres rencontrés au fil des inventaires intraparcellaires mais pas assez « isolables » sur l'image satellite. Il appartient à présent à M. Castela de compléter cette base de données afin de la rendre la plus exhaustive possible (sans oublier d'y renseigner plusieurs variétés par fruitiers lorsqu'elles existent, comme pour les manguiers).

4) Inventaire intraparcellaire des espèces arborées pour une caractérisation de la structure des plantations

4-a) Principe et objectifs

Le but de cette enquête est de fournir une alternative à la cartographie des couronnes des arbres, afin de décrire au mieux la composition des différentes parcelles agroforestières et de guider la segmentation des couronnes par photo-interprétation qui servira à valider les produits issus du traitement automatique des images.

Nous avons recherché un compromis entre simplicité et efficacité de l'enquête, permettant d'échantillonner un maximum de situations pendant le mois de terrain restant à M. Castela, et précision du positionnement des arbres. Ainsi, nous avons fait le choix d'un « simple » recensement, à savoir de dresser la liste des essences en présence à l'intérieur d'une unité d'enquête, celle-ci ayant la particularité d'être de très petite taille (1 mètre carré). Nous espérons ainsi pallier au manque de géolocalisation d'un arbre par la faible population de la surface enquêtée et sa parfaite localisation.

Concrètement, nous proposons d'établir le recensement de tous les arbres en présence (c'est-à-dire ayant la base de leur tronc appartenant effectivement au carré, sans s'occuper de la position de la canopée) au sein d'un carré de 1m de côté, en précisant à laquelle des trois strates verticales sa canopée appartient.

Avec le recul, il nous semble que, pour être en cohérence avec le travail de télédétection, nous aurions dû orienter l'enquête sur la présence de la **couronne** de l'arbre (et non de son tronc) dans l'unité de mesure, afin de s'affranchir des biais de positionnement des houppiers dus aux trajectoires parfois sinueuses des troncs à travers la canopée. Nous risquons de nous heurter à ce délicat problème au moment de dépouiller les informations à des fins de cartographie des couronnes des arbres....

4-b) Détail du protocole

- La veille de la journée d'enquête, identifier sur l'image satellite une zone arborée contenant un point facilement repérable à la fois sur l'image et le terrain (par ex : une maison, une intersection de chemin, ou autre élément remarquable). Si la zone est éloignée de plus d'une demi heure de marche du camp de base, prévoir le rendez-vous avec le moto-taxi pour le lendemain.

- Le jour J, se rendre sur le terrain au point de repère préalablement identifié, et enregistrer la position au GPS (avec une précision < 6 m, noter cette précision à côté des coordonnées inscrites sur la fiche). Nommer ce point par une lettre en suivant l'ordre alphabétique (ex : D).
- Dessiner le schéma de situation au dos de la fiche d'enquête. Ce schéma de situation comprend le point de repère replacé dans son contexte (chemin, arbre remarquable, maisons...) et l'orientation dudit schéma (le nord, à partir de la lecture de la boussole). Incrire sur ce schéma les coordonnées GPS ainsi que la précision (le DOP) de la mesure GPS entre parenthèses. Renseigner le maximum d'informations possible sur ce schéma afin de faciliter le positionnement ultérieur du transect sur l'image satellite.

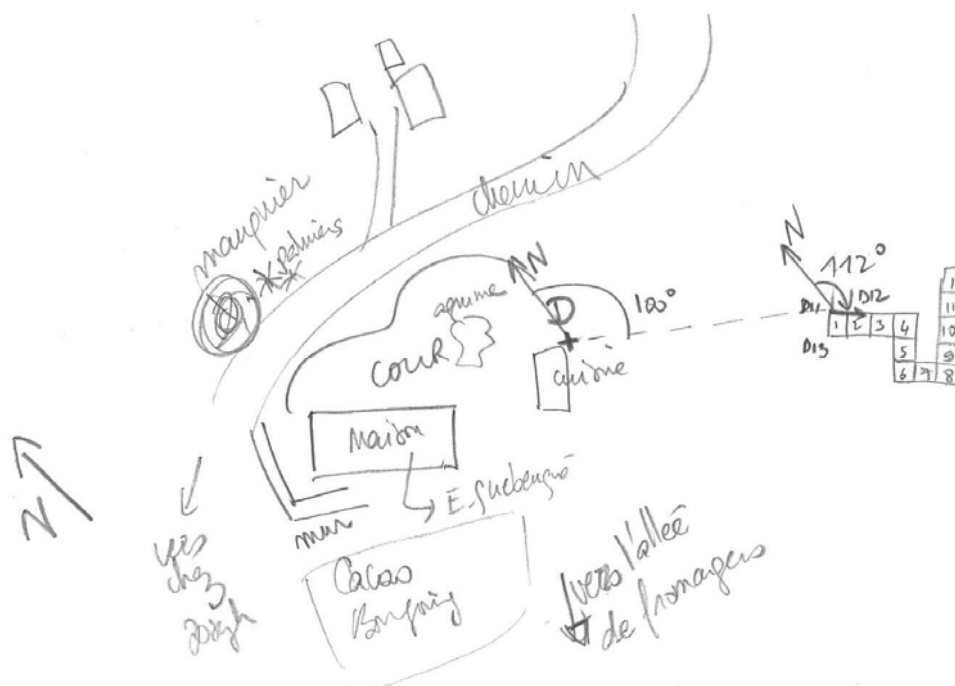


Figure 24 : Exemple d'un schéma de situation permettant de localiser de façon précise le démarrage du transect pour l'inventaire intraparcellaire.

- Parcourir rapidement les alentours du point de repère pour appréhender la diversité de structures de la zone, pour choisir le sens de déplacement pour l'enquête. Les critères de choix sont la variabilité de structure et de composition du couvert arboré. Il faut également veiller à ne pas entrer dans une zone de l'image couverte par un nuage ou son ombre.
- Planter le premier jalon (D11) à la position initiale désirée pour commencer l'enquête. Mesurer la distance (au décimètre) et l'orientation (à la boussole) entre ce premier jalon et le point de repère. Les reporter sur le schéma de situation.
- Planter le deuxième jalon (D12) à 10 m du premier ; utiliser pour cela la corde orange. Noter sur le schéma de situation l'orientation de la ligne de base ainsi constituée.
- Terminer le marquage du carré de 10 m de côté dans lequel on réalisera l'enquête. Pour ce faire, placer la corde orange (10 m) sur le premier jalon et la corde verte (14,14m) sur le second jalon, les faire se rejoindre pour fixer l'emplacement du 3^{ème} jalon.
- Echanger les cordes et réitérer l'opération pour marquer le 4^{ème} jalon.

- Indiquer sur le schéma de situation l'emplacement et l'orientation du 1^{er} carré ainsi constitué (ex : D1)
- Remplir la fiche d'enquête pour ce carré (cf. § Notice de la fiche d'enquête)
- Prendre une photo de « contexte » du carré avec l'ardoise contenant la lettre et le numéro du carré (D1) incluse dans le champ de la photo.



Figure 25 : Photographies illustrant le marquage au moyen de jalons en bois du carré matérialisant la placette d'enquête, avec utilisation de deux cordes mesurant respectivement le côté et la diagonale du carré.

- Choisir la position du carré suivant (D2), sachant qu'il comporte deux jalons communs avec le précédent.
 - Planter les 2 jalons manquants du carré D2.
- (NB : les jalons de la ligne de base restent plantés pour matérialiser le début du transect, c'est-à-dire de la succession de carrés d'enquête, dans le cas possible d'un souci en cours de transect comme le déplantage accidentel d'un jalon utile).
- Indiquer sur le schéma de situation l'emplacement et l'orientation du 2^{ème} carré ainsi constitué (D2).
 - Remplir la fiche d'enquête pour ce carré et prendre une photo de contexte.



Figure 26 : Photographie illustrant la formation d'E. Bouambi à l'utilisation de la boussole pour repérer les directions exactes dans l'espace (positionnement du premier jalon, orientation du transect, etc...)

- Choisir la position du carré suivant (D3), sachant qu'il comporte deux jalons communs avec le précédent et utiliser les deux jalons alors inutiles pour former ce carré D3 selon la méthode explicitée plus haut. Remplir la fiche d'enquête pour ce carré
- Répéter la même procédure jusqu'à couvrir la zone intéressante, sachant que le transect doit comporter au minimum 5 carrés pour être vraiment utile (pas de maximum défini).

4-c) Gestion des transects et échantillonnage de la zone

Il est important de s'organiser de façon à limiter le changement de points de repère initiaux, ce qui prend le plus de temps dans la mise en œuvre d'un transect et requiert la plus grande précision. Il vaut mieux ainsi parcourir, à partir du même point de repère, un transect comportant de nombreux carrés que de multiplier de courts transects ou de prendre des points de repères qui risquent d'être difficilement repérables sur l'image.

Le choix de la zone dans laquelle sera effectué un transect se fait selon les trois critères suivants :

1. Accession à un maximum de variabilité en termes de structures du couvert tel qu'elle apparaît sur l'image satellite à très haute résolution, donc nécessité de parcourir la zone couverte par l'image en ayant au préalable sélectionné plusieurs parcelles de même type pour plusieurs niveaux de complexité différents (ce travail a théoriquement été effectué par M. Castela avant sa mission)
2. Présence d'un ou plusieurs points de repère visibles sur l'image et facilement identifiables sur le terrain, à une distance « raisonnable » de la parcelle présentant un intérêt. Il est possible que les outils préparés par M. Castela (les impressions de l'image) ne suffisent pas à bien repérer ces objets en raison du manque de détails accessibles (facteur de zoom trop faible), il lui faudra donc trouver une solution de type « cybercafé » ou « secrétariat » pour imprimer de nouvelles vues mieux adaptées.
3. Exclusion de nuages dans l'image de la zone, afin d'en permettre une utilisation ultérieure effective (cf. par exemple sur la *Figure 28*, 4 carrés du transect B seront inutilisables en raison de leur couverture nuageuse).

4-d) Notice de la fiche d'enquête

Nous avons essayé d'établir une fiche d'enquête descriptive de la composition d'un « carré » qui permette un repérage des différents houppiers visibles sur l'image (cf. *Table 2* et *Annexe 3*).

		Fruitiers	Bananiers	Palmacées	Autres espèces	Arbres morts			
N°1	> 10m						Trouées : aucune petite moyenne grande	Feuillage aéré moyen compact	Remarques : Hauteur moyenne
	3-10m						Plantation KKO : aucune régulière sans org.	Canopée séparés Se touchent Se croisent	
	< 3m								
							Trouées :	Feuillage	Remarques :

Table 2 : Fiche d'enquête proposée pour l'inventaire intra-placette.

A posteriori, comme nous l'avons déjà signalé, il nous semble qu'il aurait été plus judicieux de recenser les arbres sur la base de la présence de leur couronne dans le carré plutôt que de la présence de leur tronc. Il y aura donc un travail rigoureux à faire pour valider les correspondances entre image et réalité en ce qui concerne la position des arbres respectifs.

Nous décrivons ci-après la manière dont on remplit cette fiche, dans laquelle chaque « matrice » correspond à un carré de 1m de côté, plusieurs carrés pouvant être renseignés sur une même feuille dans la mesure où ils appartiennent au même « transect ».

- On indique dans la première case en haut à gauche la lettre correspondant au point de repère du transect (D).

- On indique dans la colonne de gauche le numéro du carré sur le transect (1, 2, 3, etc...).

- On indique dans la case correspondante à la position dans le profil vertical (strate >10m, entre 3 et 10m ou <3m) et le type d'espèce en présence (fruitier, bananier, palmacée ou autre espèce) le nom de tous les arbres présents dans le carré. On peut indiquer en remarque si un arbre est situé à la bordure du carré ou chevauche deux carrés.

- Si on observe un arbre mort, se renseigner sur la date de disparition afin de lever toute ambiguïté avec l'observation à partir de l'image satellite (est-il mort avant ou après février ?). Identifier autant que possible l'espèce ou écrire le nom « inconnu » dans la case correspondante. Si on est sûr que l'arbre n'est pas sur l'image (mort avant février) on ne le mentionne pas. Si on n'a aucune information on note son nom avec un point d'interrogation entre parenthèses.

- Observation de la strate sus-jacente aux cacaoyers: on note la présence (ou non) de trouées dans la strate supérieure, et on en estime la taille sachant qu'une petite trouée correspond à l'encombrement d'un palmier (la référence est le palmier devant la maison de JPB), une grande trouée à l'encombrement d'un fromager, une trouée moyenne entre les deux. On estime l'épaisseur du feuillage de la strate sus-jacente des cacaoyers : un feuillage est aéré si on voit beaucoup de ciel à travers, compact si on n'en voit quasiment pas et moyen entre les deux.

- Observation de la strate des cacaoyers (il est possible qu'il n'y ait pas de cacaoyers, en ce cas on ne remplit pas cette partie) : le dispositif de plantation est-il régulier (modèle de plantation comme la parcelle de JPB devant la maison de sa mère, ou dispositif moderne, à savoir alignement total des pieds) ou sans organisation ? La canopée des cacaoyers se croise-t-elle, se touche-t-elle seulement, ou est-elle totalement séparée ? S'il y a une forte disparité on peut soit noter les 2 tendances majeures soient établir une remarque dans la case correspondante. Finalement, on estime la hauteur moyenne des cacaoyers et ajoute une remarque s'il y a une trop forte disparité.

Remarque : si on n'a rien à remplir dans une case, on y indique « 0 » (zéro).

Les fiches d'enquête de plusieurs carrés du transect C (cf. Figure 29) sont données à titre d'exemples en annexe à ce rapport.

4-d) Liste du matériel à emporter sur le terrain :



Figure 27 : Photographie du matériel à emporter sur le terrain pour l'inventaire intraparcélaire des arbres.

- 1 GPS Garmin 3+
- 1 boussole
- 1 appareil photo
- 1 ardoise et 1 feutre effaçable, chiffon
- 1 corde orange de 10m de long pour tracer le côté du carré (démarrage de la mesure = centre de la boucle, fin de la mesure= nœud)
- 1 corde verte de 14,14m de long pour tracer la diagonale du carré
- 6 jalons (poteaux en bois d'environ 1,5m de haut, peints en blanc et marqués avec du scotch de chantier orange)
- 1 ruban décimètre déroulant
- 1 jeu de fiches d'enquête vierges (une dizaine, permettant d'échantillonner une quarantaine de carrés)
- des crayons à papier (résistent à l'humidité) et 1 gomme
- de l'eau en quantité suffisante pour l'équipe
- la nourriture pour la pause-déjeuner pour toute l'équipe

4-e) Utilisation en télédétection:

Le premier but de ces enquêtes est de décrire au mieux la composition des différentes parcelles agroforestières afin d'établir une typologie de ces systèmes basée sur leur structure intraparcélaire et de développer des méthodes de télédétection permettant le repérage et la classification des parcelles agroforestières à partir de l'image de télédétection. Il faudra donc à cet effet mettre en relation les inventaires avec les objets visibles sur l'image, en parallèle avec leur analyse intrinsèque.

Le deuxième but est de guider la segmentation des couronnes par photo-interprétation qui servira à valider les produits issus du traitement automatique des images (alternative à la cartographie des couronnes des arbres par télémétrie). A cet effet, le positionnement de la grille correspondant au transect (cf. Figure 28, Figure 29) sur l'image satellite est une étape qui requiert la plus grande attention afin d'être le plus précis possible. Pour le moment, nous n'avons pas identifié d'outil existant bien adapté à la genèse de la couche vectorielle correspondante de façon vraiment rigoureuse (en tout cas, pas opérationnel sous ENVI). Le positionnement des carrés d'inventaire par rapport aux directions angulaires mesurées sur le terrain est par exemple une manœuvre délicate, pas très aisée dans un logiciel de traitement d'image. M. Castela aura donc à mettre en œuvre cette création de base de données à son retour de mission, en utilisant notamment les outils de SIG tels que ArcGIS. Le repérage consécutif des arbres répertoriés en dépend.

Par ailleurs, on pointe ici l'absolue nécessité de travailler avec des images hautement corrigées sur le plan du géoréférencement, et donc les enjeux extrêmes de l'orthorectification sur la base d'un MNT très précis.

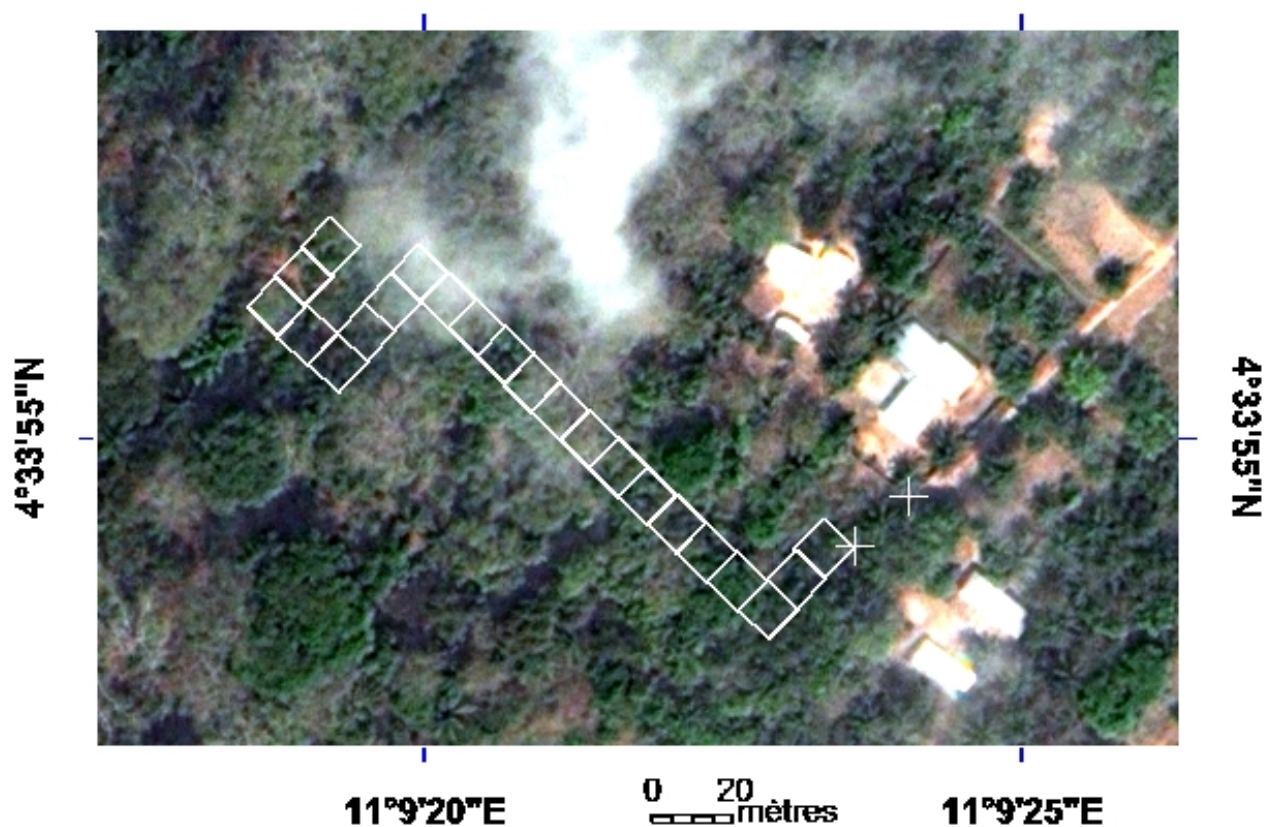


Figure 28 : Superposition sur l'image satellite du transect effectué sur le terrain dans la zone B, couvrant 2200m² dont 1800m² utilisables.



Figure 29 : Superposition sur l'image satellite du transect effectué sur le terrain dans la zone C, couvrant 600m².

5) Programmation de la fin de la mission de M. Castela

- a) M. Castela doit continuer la reconnaissance des couverts végétaux présentant un aspect particulier et surtout des parcelles arborées afin d'associer un maximum de parcelles visibles dans l'image à une vérité-terrain sur la nature de la végétation en présence (naturelle, agroforestière...) et le niveau de complexité des systèmes agroforestiers rencontrés. Ce travail doit participer à la définition de la typologie des SAF et à leur classification/cartographie dans l'image. L'objectif est de balayer la zone couverte par l'image pour identifier une dizaine de structures de SAF différentes, avec plusieurs parcelles pour représenter chacune de ces structures.
- b) Il doit aussi continuer à identifier des arbres « isolés/individualisés » afin d'enrichir la base de données de signatures spectrales d'arbres, notamment sur les espèces non encore repérées par C. Lelong et N. Lamanda mais aussi pour compléter les espèces déjà listées. Ce travail doit permettre d'établir la discriminabilité spectrale des différentes essences d'arbre et d'analyser l'apport des nouvelles bandes Worldview2. L'objectif est d'obtenir un minimum de 3 arbres pour chaque espèce peu représentée, 10 arbres pour les espèces majoritaires (cacaoyer, manguier, safoutier, agrumes, iroko, fromager, palmiers, bananiers, etc...).
- c) Il doit mettre en œuvre l'inventaire parcellaire des espèces arborées par placettes. Ce travail a une double fonction : 1) caractériser la structure des SAF en présence et aider à la définition de leur typologie avec des échantillons connus destinés à apprendre d'une part et valider d'autre part les méthodes de classification et les produits obtenus, 2) avoir une alternative à la cartographie intraparcellaire précise des couronnes d'arbres pour validation des produits de télédétection. L'objectif est de couvrir l'enquête sur un minimum de 600 placettes de 1mètre carré chacune, situées dans un minimum de 30 sites différents. Cet objectif a été estimé par rapport au temps passé en moyenne par placette et le nombre de placettes couvertes par jour par C. Lelong et N. Lamanda lors des essais du protocole.
- d) M. Castela doit par ailleurs effectuer le MNT à très haute résolution de la zone couverte par l'image au moyen du GPS Trimble GoXT à 50cm de précision, à des fins, d'une part, d'orthorectification de l'image et, d'autre part, d'analyse des SAF en relation avec la topologie locale (possibilité d'introduire la topo directement dans la définition de la typologie, établir des relations entre mode de culture et topo, entre présence des bioagresseurs/performances agronomique et topo, etc...).

Il est établi qu'il reste 6 semaines complètes de travail sur le terrain.

M. Castela devra envoyer de façon hebdomadaire un SMS à C. Lelong contenant un petit bilan quantitatif de la semaine passée et fournir un compte rendu de bilan de mission, explicitant les travaux effectués sur le terrain et leurs résultats, au plus tard 10 jours après son retour (i.e. le 25 juillet au plus tard).

Ce programme a été validé le 25 mai 2011 par les parties en présence : M. Castela, doctorant, C. Lelong, encadrante de la thèse, N. Lamanda et P. Jagoret, membres du comité de pilotage de la thèse.

6) Remerciements

Nous tenons à remercier en tout premier lieu Patrick Jagoret (CIRAD UR34) pour nous avoir guidées lors de nos premiers jours de terrain et pour sa disponibilité dans l'appui à ce travail malgré la préparation de sa soutenance de thèse !

Nos profonds remerciements vont aussi à Jean-Paul Bidias et sa femme Régine pour nous avoir si chaleureusement accueillies chez eux durant la durée de notre séjour au village de Bakoa et à tous les planteurs pour leur patience et leur compréhension envers notre démarche dans leurs plantations. Un grand merci à notre fameuse équipe de « collecteurs de vérité-terrain pour la télédétection » : Emmanuel Bouambi (IRAD, Yaoundé), Mballa et Jean-Paul de Bakoa, qui ont fait preuve d'une motivation et d'un investissement personnel exemplaires pour la bonne mise en place des différents protocoles d'enquête. Nous leur sommes aussi particulièrement reconnaissantes pour leur bonne humeur constante, très agréable et bien utile pour traverser ensemble les aléas et divers tracasseries du travail de terrain. Nous garderons de très bons souvenirs de partages et de belles anecdotes de terrain grâce à vous !



Figure 30 : L'équipe de « collecteurs de vérité-terrain pour la télédétection » de cette mission à Bakoa, rassemblés autour d'un jalon particulièrement compliqué à positionner au sein même des contreforts d'un immense fromager. De gauche à droite et de haut en bas : Jean-Paul Bidias, Emmanuel Bouambi, Mballa, Camille Lelong, Nathalie Lamanda.

C] Annexes

Annexe 1 : Communication sur les rencontres à Yaoundé par Jean-Marc BOFFA, coordinateur CIRAD du PCP à Yaoundé:

Le PCP «Agroforesterie Cameroun» mobilisé en appui à l'enseignement universitaire à Yaoundé

Les lundi 16 et mardi 17 mai derniers, deux cent à deux cent cinquante étudiants de niveau Mastère en sciences forestières et en géographie de l'Université de Yaoundé ont eu l'occasion de participer à deux conférences organisées dans le cadre de l'animation scientifique de la plateforme « PCP Agroforesterie Cameroun ».

Après une cérémonie d'ouverture présidée par le Recteur de l'Université de Yaoundé I, les chercheurs du CIRAD venus de Montpellier ont présenté aux étudiants les outils modernes de caractérisation par télédétection et les approches mises en œuvre pour l'évaluation de la multifonctionnalité des systèmes agroforestiers.



Le PCP Agroforesterie Cameroun est une plateforme pluri-institutionnelle de recherche sur le développement des systèmes agroforestiers performants et durables qui regroupe les chercheurs des quatre institutions fondatrices, les Universités de Dschang et Yaoundé I, l'IRAD et le CIRAD et collabore également avec les autres institutions de recherche concernées par l'agroforesterie au Cameroun notamment l'ICRAF, le CIFOR, et l'IITA.

Ce dispositif de recherche en collaboration a pour vocation d'offrir aux chercheurs et universitaires un environnement favorable et durable pour produire et valoriser des résultats scientifiques de qualité, diffuser les innovations et participer à la formation des chercheurs et des étudiants. Dr. Bella Manga, Coordonnateur du PCP Agroforesterie Cameroun et chercheur à l'IRAD précise : « Jusqu'aujourd'hui, le PCP a contribué à l'encadrement de nombreux étudiants de toutes origines par les chercheurs. Dans cette deuxième phase, nous cherchons également à renforcer l'interface recherche-enseignement et permettre aux étudiants de bénéficier de l'expérience des acteurs non académiques de notre partenariat dans leurs programmes de formation. »

Les sujets abordés par Dr. Nathalie Lamanda, agronome système à l'UMR SYSTEM et Dr. Camille Lelong, chercheur en télédétection à l'UMR TETIS au cours de ces conférences sont au cœur de la problématique scientifique actuelle du PCP. Afin d'accroître la lisibilité et l'impact du programme au regard de ses ressources, celle-ci cible depuis 2010 l'agroforesterie en tant qu'exemple pour l'intensification écologique des systèmes à base de cultures pérennes dans le Grand Sud Cameroun. L'intensification écologique veut pouvoir répondre de manière durable aux grands défis actuels, que posent les besoins en alimentation d'une démographie en forte croissance, superposés à la nécessité de réduire les impacts environnementaux de nos pratiques modernes de production agricole intensive.

Elle marque une rupture importante avec l'agriculture conventionnelle et consiste à s'appuyer sur les processus et fonctionnalités écologiques, et la combinaison des savoirs traditionnels et scientifiques pour concevoir des systèmes de culture plus économes en intrants, en énergie fossile et en eau tout en améliorant le niveau de services écosystémiques (biodiversité, puits de carbone, etc) produits.



Selon Nathalie Lamanda, les systèmes agroforestiers, dont la caractéristique propre est d'associer une gamme parfois importante de plantes ligneuses aux cultures, en font un modèle d'intensification écologique intéressant. Ces modes de culture en associations sont une famille de pratiques de gestion anciennes mises en œuvre par les agriculteurs pour diversifier la production de denrées autoconsommées et commercialisées tout en assurant une résilience agro-économique dans le long terme.

Cependant, leurs performances sont sujettes à controverse. Certains les mettent en avant pour le niveau relativement élevé de services écologiques fournis, par exemple pour la conservation de la biodiversité et leur potentiel de séquestration du carbone, tandis que d'autres estiment que la productivité des cultures principales dans ces systèmes reste faible en comparaison avec des systèmes plus intensifs. D'où la nécessité d'une évaluation d'ensemble utilisant des critères pour les différents acteurs qui fasse ressortir les aspects multifonctionnels de ces systèmes. Cette évaluation permet de mieux comprendre les compromis entre productivité et services écosystémiques fournis et de les améliorer en fonction des objectifs recherchés dans le cadre de la conception de nouveaux systèmes de culture.

L'objectif de la deuxième conférence était d'illustrer les apports de la télédétection pour la caractérisation des systèmes de culture agroforestiers. Camille Lelong a en particulier montré comment la récente disponibilité de données satellitaires d'imagerie multispectrale à une résolution inférieure au mètre permet d'envisager des outils d'extraction de l'information à l'échelle intraparcellaire voire de l'arbre individuel. De multiples applications dans le domaine des cultures pérennes et de l'agroforesterie



sont maintenant rendues possibles comme la mesure de l'indice foliaire des palmiers à huile en plantation pour évaluer leur productivité et aider à leur gestion agronomique (Indonésie), la caractérisation des modes de culture dans des bananeraies à des fins de certification biologique (Antilles Françaises), la typologie de systèmes de culture à base de cocotier pour aider à leur évaluation agronomique (Mélanésie), l'appréciation de l'ombrage dans les caféières pour estimer les risques d'apparition de maladies ou pour estimer des critères de qualité (Ouganda, Indonésie), ou encore l'analyse spatiale multicritères (indicateurs de qualité et caractéristiques environnementales) pour la délimitation objective d'un terroir (certification du café par indication géographique contrôlée, Indonésie). Toutefois, pour permettre une utilisation généralisée de la télédétection comme aide à l'évaluation des systèmes de culture agroforestiers, de nombreux verrous restent à lever, comme le décodage de la complexité des systèmes traditionnels, la mise en



œuvre semi-opérationnelle d'outils encore très liés à l'expertise du chercheur, aux expérimentations de terrain et aux données exogènes, mais aussi la disponibilité restreinte des données due à leur coût et à la couverture nuageuse des pays tropicaux. C'est pourquoi ces applications relèvent encore du domaine de la recherche et demandent un gros effort de développement. Pour exemple, dans le cadre d'une collaboration entre les chercheurs de l'IRAD et du CIRAD, Camille Lelong

encadre une thèse sur la caractérisation par télédétection à très haute résolution spatiale de la structure de plantation des systèmes agroforestiers à base de cacao dans la région de Bokito au Cameroun, qui vise à extraire des indicateurs tels que le niveau de complexité des plantations et leur diversité végétale, à qualifier et quantifier l'ombrage, à représenter l'organisation spatiale des différentes strates arborées. Elle s'intéresse par ailleurs à l'analyse de la dynamique de ces systèmes et de leur place dans le paysage rural.

Hermine Yaka, étudiante en fin de Master professionnel en agroforesterie, constate que les étudiants sortent de l'université avec un très bon niveau théorique, mais ils sont mal à l'aise dans la pratique de leurs spécialités, car ils n'ont pas eu l'occasion de mettre ces connaissances à l'épreuve de la réalité. « Ce type de conférences nous aide à appliquer les concepts enseignés dans nos cours à des cas de figure concrets. »

« Faute de moyens supplémentaires, il est difficile de faire intervenir des professionnels dans nos cours », confie Prof. Moïse Moupou du Département de Géographie de Yaoundé I. Le regroupement de chercheurs du PCP représente donc une somme de compétences facilement accessible qui peut être valorisée à faible coût par les universités de Yaoundé I et Dschang. Raison pour laquelle les chefs des Départements de Biologie et Physiologie Végétale et de Géographie de l'Université de Yaoundé I n'ont pas hésité à accueillir cette initiative du PCP par une large publicité auprès de leurs étudiants et le déplacement de certains des cours initialement prévus pendant ces matinées.

Annexe 2 : Liste des espèces recensées en 2007 dans la zone de Bokito

Document établi en 2007 par Charly Anicet Messie, encadré par Patrick Jagoret, dans : « Caractérisation de la richesse floristique en fonction de l'âge des agroforêts à base de cacaoyers du bassin du centre Cameroun : cas de Bokito, Obala et Ngomedzap », Mémoire du diplôme d'Ingénieur de conception des Eaux Forêts et Chasse. Dschang, Cameroun, Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Département de Foresterie, 96 p. – (Annexe 7).

Nom vernaculaire			Nom Pilote	Nom Scientifique	Famille
Ewondo	Yambassa	Eton			
Abing		Ebing	Abalé	<i>Petersianthus macrocarpus</i> (P. Beauv.) Liben	Lecythidaceae
Abam	Ega	Abam	Abam	<i>Gambeya lacourtiana</i>	Sapotaceae
Abayak			Abayak	<i>Vernonia conferta</i> Benth.	Asteraceae
Abelbongo			Abelbongo	<i>Tristemma mauritianum</i> J. F. Gmel	Melastomataceae
Abem afan			Abem afan	<i>Berlinia confusa</i> Hoyle	Caesalpiniaceae
Abeu			Abeu	<i>Cola acuminata</i> (P. Beauv.) Schum.	Sterculiaceae
Abel / Otu	Boufédou	Abel / Otu	Aiéélé	<i>Canarium schweinfurthii</i> Engl.	Burseraceae
		Akak	Akak	<i>Duboscia macrocarpa</i> Bocq.	Tiliaceae
Akeng		Akeng	Akeng	<i>Morinda lucida</i> Benth.	Rubiaceae
		Aloa	Ako "w"	<i>Antiaris welwitschii</i> Lesch.	Moraceae
Akolé	Oséga	Ewoua	Akol	<i>Ficus exasperata</i> Valh.	Moraceae
Akpwa'a	Noubongbongo		Akpa	<i>Tetrapleura tetraptera</i> (Schumach. & Thonn.) Taub.	Mimosaceae
Omang			Alep	<i>Desbordesia glaucescens</i> (Engl.) Van Tiegh.	Irvingiaceae
	Noudiédié			<i>Allophylus africanus</i>	Sapindaceae
			Aloa/ tol	<i>Antiaris africana</i>	Moraceae
Andok beti	Ndagnè	Mango	Andok	<i>Irvingia gabonensis</i> (Aubry-Lecomte ex O'Rorke) Baill.	Irvingiaceae
Angossa			Angossa	<i>Markhamia lutea</i> (Benth.) k. Schum.	Bignoniaceae
		Angueuk	Angueuk	<i>Ongokea gore</i> (Hua) Pierre	Olacaceae
Etoup	Itoup		Arbre à pin d'Afrique	<i>Treculia africana</i> Decne	Moraceae
	Nounkô	Assam	Assam	<i>Uapaca guineensis</i> Müll. Arg.	Euphorbiaceae
Assas			Assas	<i>Macaranga hurifolia</i> Beille	Euphorbiaceae
Atom	Boussino		Atom	<i>Dacryodes macrophylla</i> (Oliv.) Lam.	Burseraceae
Atombekui	Guinkoungou		Atom koé	<i>Pseudospondias microcarpa</i> (A. Rich.) Engl.	Anacardiaceae
Atondo			Atondo	<i>Harungana madagascariensis</i> Lam. ex poir	Clusiaceae
		Avep	Avep	<i>Holoptelea grandis</i> (Hutch.) Mildbr.	Ulmaceae
Aveek			Aveuk	<i>Trema orientalis</i> (L.) Blume	Ulmaceae
Fia	Bofia	Pia	Avocatier	<i>Persea americana</i> Mil.	Lauraceae
Ayous	Oukolo	Ayous	Ayous	<i>Triplochyton scleroxylon</i> K. Schum.	Sterculiaceae
Saliyeme	Ompagna	Sayeme	Bangbaye	<i>Albizia adianthifolia</i> (Schumach.) W. Wight	Mimosaceae
		Oteng	Beté	<i>Mansonia altissima</i> (A. Chev.) A. Chev.	Sterculiaceae
Akonong			Bilinga	<i>Nauclea diderrichii</i> (De Wild. & T.Durand) merr.	Rubiaceae
	Nyalê	Nyel	Bitter-cola / Onié	<i>Garcinia cola</i> Heckel	Clusiaceae
Essigang	Boufouni		Bubinga	<i>Guibourtia tessmannii</i>	Caesalpiniaceae
Atanga	Casmanga		Casmango	<i>Spondias cytherea</i> Sonn.	Anacardiaceae

	Bougodè		Indéterminé	<i>Cola millenii</i> K. Schum.	Sterculiaceae
Abeu goro	Boubénou	Lebel goro	Colatier	<i>Cola nitida</i> (Vent.) Schott & Endl.	Sterculiaceae
Ebae	Guébabê	Ebae	Cordia d'Afrique	<i>Cordia platythyrsa</i> Baker	Boraginaceae
	Bosabasoba		Corossolier	<i>Annona muricata</i> L.	Annonaceae
Ewomé		Ewomé	Coula	<i>Coula edulis</i> Baill.	Olaceae
Engang	Bougogolo		Crabwood d'Afrique	<i>Carapa procera</i> Dc.	Meliaceae
Atui	Guilime	Atu / Nom eyem	Dabema	<i>Piptadeniastrum africanum</i> (Hook. f.)	Mimosaceae
Ndambalé			Dambala	<i>Discoglypemma caloneura</i> (Pax) Prain.	Euphorbiaceae
		Odou	Diana / Ohia	<i>Celtis tessmannii</i> Engl.	Ulmaceae
Bibolo		Bibolo	Dibetou	<i>Lovoa trichilioides</i> Harms.	Meliaceae
	Monambo		Dragonier	<i>Dracena arborea</i> (Wild.) Link	Agavaceae
Ebebeng		Ebebeng	Ebebeng	<i>Phyllanthus discoideus</i> (Baill.) Müll. Arg.	Euphorbiaceae
		Mevina	Ebène	<i>Diospyros crassiflora</i> Hiern	Ebenaceae
Ebing			Ebin	<i>Croton oligandrus</i> Pierre	Euphorbiaceae
	Guifougouènè		Edjefoc	<i>Sterculia tragacantha</i>	Sterculiaceae
Efobolo			Efobolo	<i>Tetrorchidium didymostemon</i> (Baill.) Pax. & K. Hoffm.	Euphorbiaceae
Efok		Efok	Efok	<i>Cola lateritia</i> K. Schum.	Sterculiaceae
	Nkélé		Ekebeng	<i>Elaeophorbia drupifera</i> Stapf.	Euphorbiaceae
Ekekom	Bosambia	Ekekom	Ekekam	<i>Ficus sur</i> Forssk	Moraceae
Ekom		Evom	Ekom	<i>Cola ficifolia</i> Mast.	Meliaceae
Eteng bilobi		Nom eteng	Ekouné	<i>Coelocaryon preussii</i> Warb.	Myristicaceae
		Elelom	Elelom	<i>Anthocleista schweinfurthii</i> Gilg.	Loganiaceae
Abeyak bilobi/Ayinda	Guètè	Nourga	Elelom zam	<i>Anthocleista vogelii</i> Planch.	Loganiaceae
Ekuk		Akuk	Emien	<i>Alstonia boonei</i> De Wild.	Apocynaceae
Engokom		Enguekom	Engokom	<i>Myrianthus arboreus</i> P. Beauv.	Cecropiaceae
Essak			Essak	<i>Albizia glaberrima</i> (Schum. & Thonn.) Benth.	Mimosaceae
Essombi		Essombi	Essombi	<i>Rauvolfia macrophylla</i> Stapf.	Apocynaceae
Ngon		Ngon	Eveuss	<i>Klainedoxa gabonensis</i> Pierre ex Engl.	Irvingiaceae
Evié			Evié	<i>Glyphrea brevis</i> (Spreng.) Monach.	Tiliaceae
Evoula	Bonênê	Evoul	Evino	<i>Vitex grandifolia</i> Gürke	Verbenaceae
Evouvous / Latandza	Guionoumchê		Evouvous / Latandza	<i>Albizia ferruginea</i> (Guill. & Perr.) benth.	Mimosaceae
Angoan			Evesku	<i>Porterandia cladantha</i>	Rubiaceae
Evovone	Guicholochôlo	Evovone	Evovone	<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	Bignoniaceae
Ewolote	Guifiguêsobo	Eveugzi	Ewolote	<i>Bridelia micrantha</i> (Hochst.) Baill.	Euphorbiaceae
Ahébilé			Eyabe	<i>Cola ballayi</i> Cornu	Sterculiaceae
Eyong		Eyong	Eyong	<i>Eribroma oblonga</i> (Mast.) Pierre	Sterculiaceae
Bongo	Ohaya	Bongo	Fagara	<i>Fagara heitzii</i> Aubrev. & Pellegr.	Rubiaceae
Tolé	Guébotso	Ekekol	Figuier	<i>Ficus mucoso</i> Ficalho	Moraceae
Akom	Nounkô	Akom	Fraké	<i>Terminalia superba</i> Engl. & Diels	Combretaceae
	Odombio		Framiré	<i>Terminalia ivorens</i> Engl. & Diels	Combretaceae
	Bougoumé	Douma	Fromager	<i>Ceiba pentandra</i> (L.)	Bombacaceae
			Goyavier	<i>Psidium guajava</i> L.	Myrtaceae
	Keume	Ndamba ebouma	Hévéa	<i>Hevea brasiliensis</i> (A. Juss.) Mull. Arg.	Apocynaceae
Eteng	Ahongna	Calbot	Ilomba	<i>Pycnanthus angolensis</i> (Welw.) warb	Myristicaceae
		Okekele	Indéterminé	<i>Mareyopsis longifolia</i>	Euphorbiaceae
	Bosango		Indéterminé	<i>Garcinia afzellii</i>	Clusiaceae
	Bouguélou		Indéterminé	<i>Ficus vogelii</i>	Moraceae
	Adébolegua		Indéterminé	<i>Ficus</i> sp.	Moraceae

Akom ntangan	Bouôlo		Indéterminé	<i>Sterculia tragacantha K. Schum.</i>	Sterculiaceae
			Indéterminé	<i>Terminalia manthali</i>	Combretaceae
			Indéterminé	<i>Terminalia glaucescens</i>	Combretaceae
Abang	Tchônou / Ngombè	Abang	Iroko	<i>Milicia excelsa (Welw.) Berg.</i>	Moraceae
Kakoa			Kakoa	<i>Milletia sp.</i>	Fabaceae
Esoldoum			Kapokier	<i>Bombax buenopozense P. Beauv.</i>	Bombacaceae
Eko	Egongo		Kumbi	<i>Lannea welwitschii (Hiern) Engl.</i>	Anacardiaceae
		Landa	Landa	<i>Erythroxylon mannii Oliv.</i>	Erythroxylaceae
		Lekaleka	Lekaleka	<i>Erythrococca sp.</i>	Euphorbiaceae
		Letak	Letak	<i>Clerodendron sp.</i>	Verbenaceae
Nkanang		Nkanga	Lotofa	<i>Sterculia rhinopetala K. Schum.</i>	Sterculiaceae
		Avo	Makoré	<i>Tieghemella africana Pierre</i>	Sapotaceae
	Mandalia'a		Mandarinier	<i>Citrus sp.</i>	Rutaceae
Andok ntangan	Boulondo	Ando'o	Manguier	<i>Mangifera indica L.</i>	Anacardiaceae
		Mbazoa	Mbazoa	<i>Strombosia grandifolia Hook. f.</i>	Olaceae
	Noueimchê	Mekam	Mbikam	<i>Newbouldia laevis Seem. Ex Bureau</i>	Bignoniaceae
Mejang mejanga			Mejang mejanga	<i>Rauvolfia vomitoria Afzel.</i>	Apocynaceae
		Ekogo	Mekhogo	<i>Pachyelasma tessmannii</i>	Caesalpiniaceae
	Ouholo		Mendjin nkogo	<i>Psychotria sp.</i>	Rubiaceae
Miamigomo			Miamigomo	<i>Caloncoba gilgiana (Sprague) Gilg.</i>	Flacourtaceae
Adjap		Adjap	Moabi	<i>Baillonella toxisperma Pierre</i>	Sapotaceae
Mfol		Mpol	Moambe jaune	<i>Enantia chlorantha Oliv.</i>	Annonaceae
Eyen		Eyen	Movingui	<i>Distemonanthus benthamianus Baill.</i>	Caesalpiniaceae
Ebaye		Ebaye	Mubala	<i>Pentaclethra macrophylla Benth.</i>	Mimosaceae
Ndamba			Mutondo	<i>Funtamia elastica (Preuss) Stapf</i>	Apocynaceae
Nfan			Mvan	<i>Buchholzia coreacea Engl.</i>	Capparaceae
Mfanda			Mvanda	<i>Hylodendron gabunense Taub.</i>	Caesalpiniaceae
Amvout			Mvut	<i>Trichoscypha acuminata Engl.</i>	Anacardiaceae
Mbonda			Niové	<i>Staudtia kamerunensis Warb.</i>	Myristicaceae
Esesang	Guéyiéna	Ezezang	Njangsang	<i>Ricinodendron heudelotii (Baill.) Pierre ex Heckel</i>	Euphorbiaceae
Nom assas			Nom assas	<i>Macaranga sp.</i>	Euphorbiaceae
Okene		Okene	Nsangomo	<i>Allanblackia floribunda Oliv.</i>	Guttiferae
		Obang	Obang	<i>Schrebera arborea A. Chev.</i>	Olaceae
	Boukougni	Eto	Obotan	<i>Voacanga africana Stapf</i>	Apocynaceae
Adoum		Adoum	Okan	<i>Cylicodiscus gabunensis Harms</i>	Mimosaceae
Ofumbi	Boukombou	Opouma	Oranger	<i>Citrus sinensis (L.) Osbeck</i>	Rutaceae
Sikong			Osanga	<i>Pteleopsis hylodendron Mildb.</i>	Combretaceae
	Bouhondo		Osomzo	<i>Trilepisium madagascariensis</i>	Moraceae
	Guèlonka	Ossas	Ossas	<i>Macaranga barterii Mull. Agr.</i>	Euphorbiaceae
Ossessang		Essessa	Ossessang	<i>Garcinia ovalifolia Oliv.</i>	Clusiaceae
		Avinkounouk	Ossol	<i>Symphonia globulifera</i>	Clusiaceae
Zolibi		Zolibi	Otomba afan	<i>Bosqueia angolensis Ficalho</i>	Moraceae
Oyakui		Ekui	OyaKui	<i>Xylopia aurantiodora</i>	Annonaceae
Angongo			Ozambili	<i>Antrocaryon klaineum Pierre</i>	Anacardiaceae
	Bouanca		Pachis	<i>Afzelia pachyloba</i>	Caesalpiniaceae
Mbel/Essil	Guédondo	Mel	Padouk	<i>Pterocarpus soyauxii Taub.</i>	Papillonaceae
Alen	Ibile	Alen	Palmier à huile	<i>Elaeis guineensis Jacq.</i>	Arecaceae

			Pamplemoussier	<i>Citrus grandis (L.) Osbeck</i>	Rutaceae
	Guésinguè	Esseng	Parassolier	<i>Musanga cecropioides R. Br.</i>	Cecropiaceae
Assa'a	Boukôdo	Assa'a	Safoutier	<i>Dacryodes edulis (G. Don) H. J. Lam</i>	Burseraceae
	Oppa	Asse	Sapelli	<i>Entandrophragma cylindricum (Sprague) Sprague</i>	Meliaceae
Avom			Sobu	<i>Cleistopholis patens (Benth.) Engl. & Diels</i>	Annonaceae
		Elon	Tali	<i>Erythrophleum ivorense A. Chev.</i>	Caesalpiniaceae
	Guilôbio		Teck	<i>Tectona grandis</i>	Verbenaceae
Etok		Epok	Tiama	<i>Entandrophragma angolensis (Welw.) C.Dc</i>	Meliaceae
Owondo ntangan	Bousobosobo		Wondo ntangan	<i>Artocarpus altilis J.R.Forst. & G.Forst.</i>	Moraceae
Zingana			Zingana	<i>Microberlinia bisulcata A. Chev.</i>	Caesalpiniaceae
Okoyom			Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
Olog			Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
Nkam			Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
Kamanda			Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
Nkangla			Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
Ngolong			Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
Nfas			Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
Otolof			Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
Agondo			Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
Ngueuk			Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
Ondodo élé			Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
		Idouasse	Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
		Ekwate	Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
		Osse	Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
		Asanga	Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
		Ndongmengue	Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
		Ntoua	Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
		Nyomito	Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
		Alen afan	Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
		Bongolomeki	Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
		Mevengmebaye	Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
		Alogo	Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
		Nkangla	Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
	Nihénni		Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé
	Boutingdili		Indéterminé	<i>Indéterminé</i>	Indéterminé

Annexe 3 : Exemples de fiches d'inventaire intra-placette rempli sur le transect C.

C		Fruitiers	Bananiers	Palmacées	Autres espèces	Arbres morts	Trouées :				Feuillage		Remarques :	
							aucune	petite	moyenne	grande	aérée	moyen	compact	
N°1	> 10m	0	0	0	0									
	3-10m	0	0	1 palmier	0									
	< 3m	1 safoutier	0	0	0									Hauteur moyenne KKO : 3 m
N°2	> 10m	0	0	0	1 canarium	0								
	3-10m	1 papayer	0	0	0	0								
	< 3m	0	1	0	0	0								Hauteur moyenne KKO : 5 m
N°3	> 10m	0	0	0	1 fromager énorme 1 inimbo 1 inconnu	0								
	3-10m	0	0	1 palmier	0	0								
	< 3m	0	0	0	0	0								Hauteur moyenne KKO : 5 m
N°4	> 10m	0	0	0	1 bougodé 1 iroko	0								
	3-10m	2 colatiers	1 groupe de bananiers	0	0	0								
	< 3m	0	0	0	0	0								Hauteur moyenne KKO : 3-5 m

Annexe 4 : Diapositives des conférences données à l'Université de Yaoundé
(Fichier PDF séparé)

Annexe 4 : Diapositives des conférences données à l'Université de Yaoundé 1




Apports de la télédétection pour la caractérisation des systèmes agroforestiers






Yaoundé, 16 mai 2011

Camille Lelong


- Chercheur en **télédétection et analyse spatiale** pour la caractérisation et l'évaluation des systèmes de culture pérennes et agroforestiers, **CIRAD**, depuis 2001
- **Doctorat** en Sciences de l'Univers, spécialité **télédétection hyperspectrale** (Toulouse III, 1999):
« Caractérisation des surfaces agricoles et de leur évolution par reconnaissance hyperspectrale »
- Masters en Physique Appliquée:
 1. DEA « **Méthodes Physiques pour l'Astronomie et les Techniques Spatiales** » (Paris VI, 1995)
 2. DEA « **Géophysique et Planétologie** » (Toulouse III, 1996)

Domaines d'application

Palmier à huile, cocotier, bananier, caféier (arabica et robusta, monocultures et SAF bananiers, agrumes et girofliers), fruitiers méditerranéens (pêche, abricot, cerise, amande, olive, vigne)

- Cartographie de l'occupation du sol et écologie du paysage
- Repérage/cartographie de systèmes de culture particuliers
- Typologie
- Caractérisation de la structure de plantation, des modes de plantation, de l'ombrage
- Caractérisation et délimitation de terroirs
- Estimation de la fermeture, de la complexité du peuplement
- Détection/évaluation de l'atteinte par les maladies (CWD/robusta, ganoderma/palmier, JM/cocotier...)
- Détection de carences nutritionnelles (N, P, K...)
- Estimation du LAI



Indonésie (Sumatra, Bali), Vanuatu, Ouganda, Mali, Guinée, Sénégal, Guadeloupe (Antilles Françaises), Gard et Hérault (France)

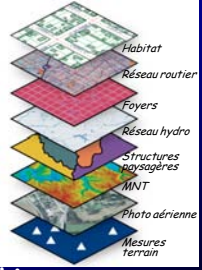
Présentation

- Télédétection: définitions, principes
- Exemples d'application en agroforesterie
- Projets au Cameroun
- Perspectives

La géomatique

Analyse combinée des différentes sources d'information spatiale pour la caractérisation/compréhension des milieux

- **Imagerie satellite/aérienne**
 - Support cartographique
 - Information endogène
- **Produits de télédétection**
 - Cartes d'occupation du sol
 - Modèle numérique de terrain
 - Paramètres biophysiques
 - ...
- **Systèmes d'Information Géographique**
Croisement des informations géoréférencées



La télédétection, c'est...

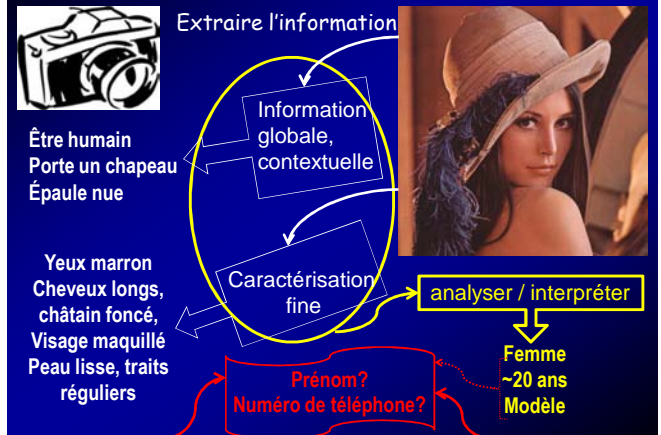
« ... la science et la technique permettant d'obtenir une information utile sur un objet, une scène ou un phénomène à travers l'analyse de données acquises par un système qui n'est pas en contact avec l'objet, la scène, ou le phénomène étudié. »

Lillesand, Thomas M. and Ralph W. Kiefer, "Remote Sensing and Image Interpretation", John Wiley and Sons, Inc, 1979, pp610.

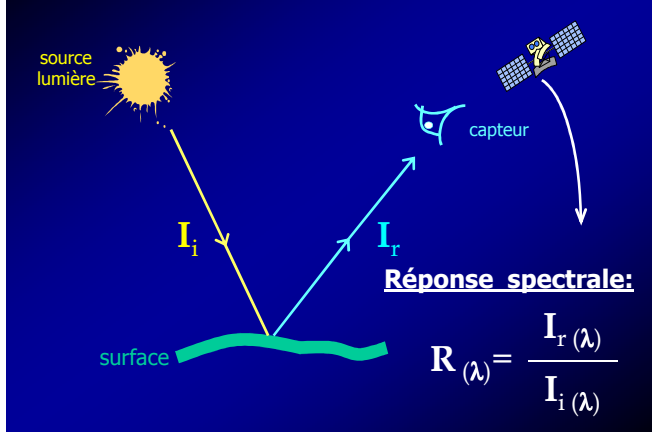
Télédétection: extraction de l'information



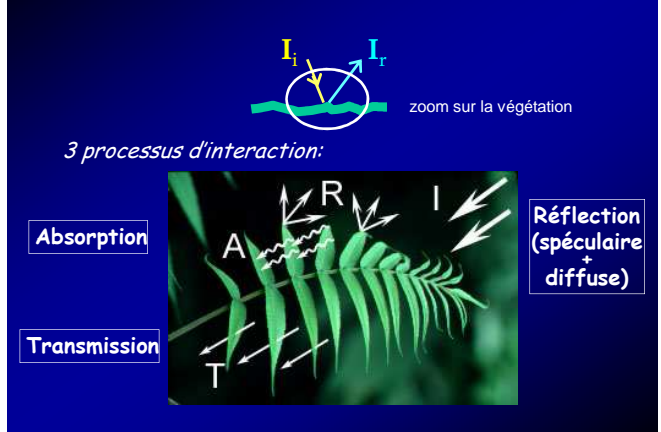
Télédétection: extraction de l'information



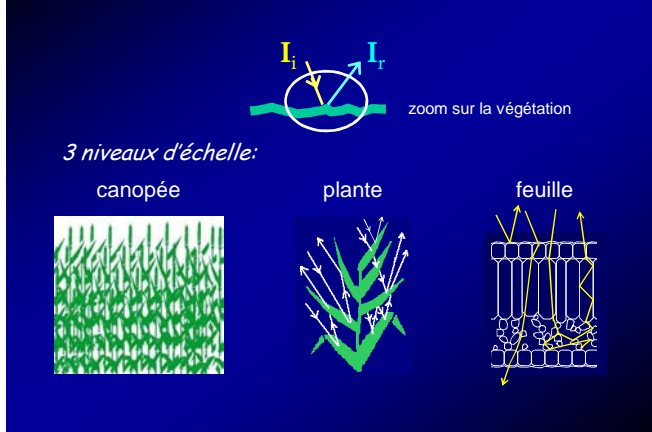
Interactions Cible/Rayonnement (1)



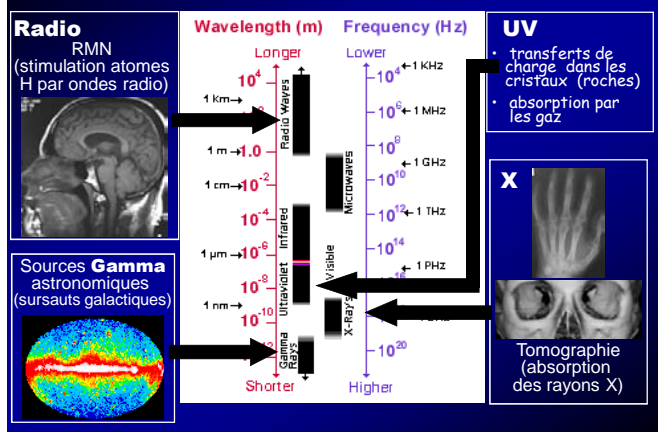
Interactions Cible/Rayonnement (2)



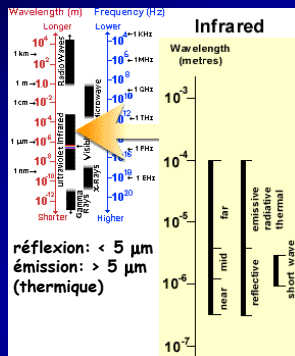
Interactions Cible/Rayonnement (3)



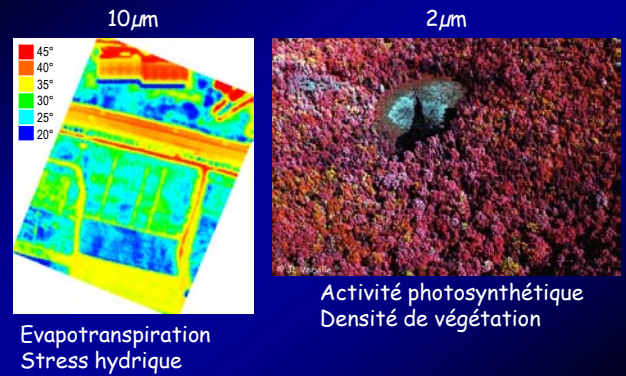
Le Spectre ELM (1): γ - X - UV - radio



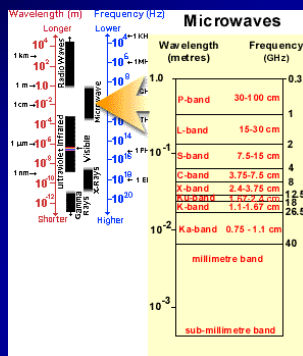
Le Spectre ELM (2): INFRAROUGE 0,7µm - 0,1mm



Le Spectre ELM (2): INFRAROUGE 0,7µm - 0,1mm

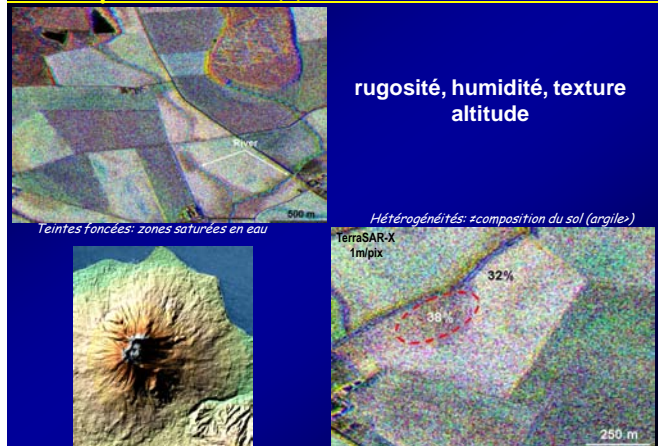


Le Spectre ELM (3): micro-ondes 1mm-1m

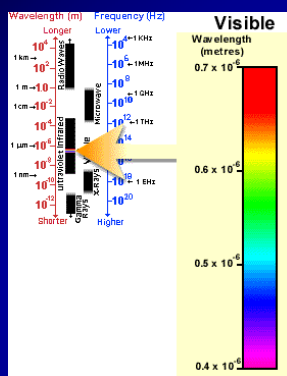


=
HYPER-
FREQUENCES

Le Spectre ELM (3): micro-ondes 1mm-1m



Le Spectre ELM (2): VISIBLE 0,4 - 0,7 µm

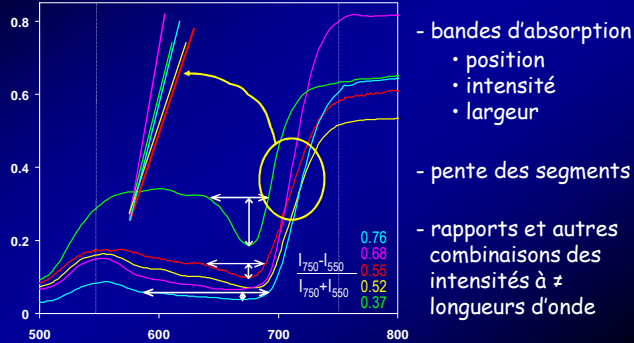


Le Spectre ELM (2): VISIBLE 0,4 - 0,7 µm

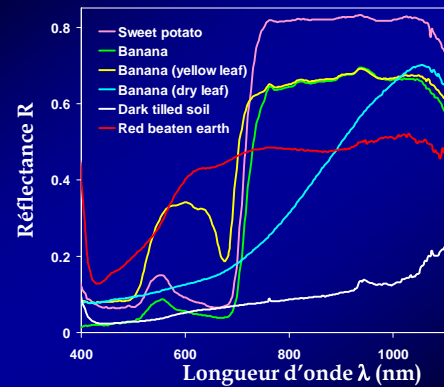


L' Information Spectrale

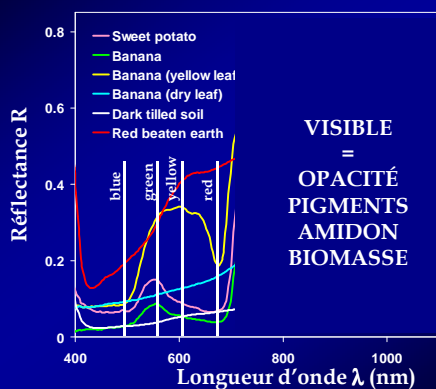
SPECTROSCOPIE =
analyse de la réponse spectrale de la cible



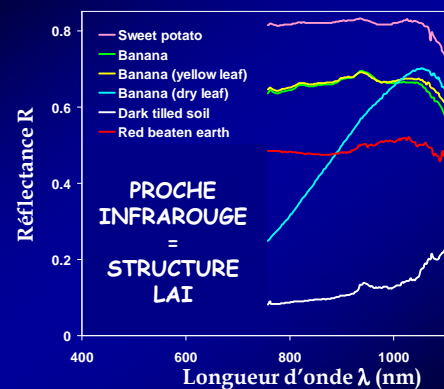
Végétation / Visible + Infrarouge



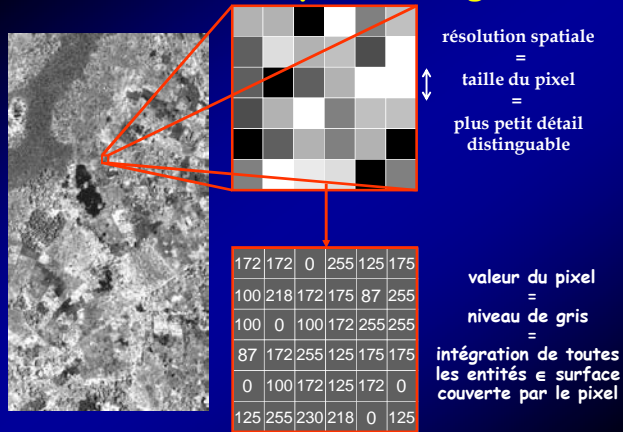
Végétation / VIS



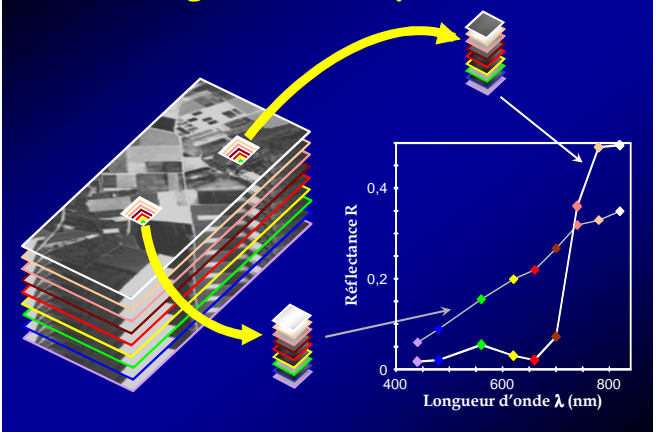
Végétation / NIR



Qu'est-ce qu'une image?



Imagerie Multispectrale



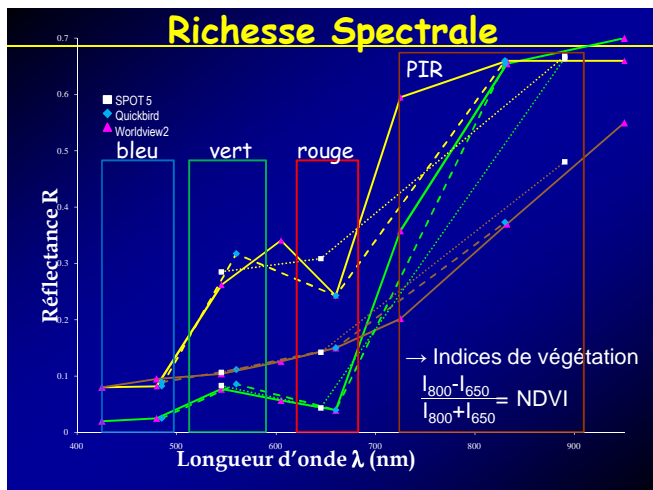


Image et Télédétection

3 facteurs limitants pour la détection et la caractérisation de la cible:

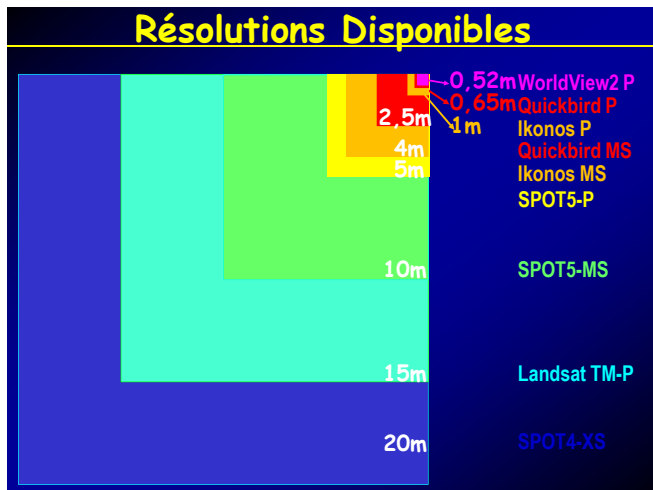
- taille de la cible
- hétérogénéité de l'environnement étudié
- niveau d'information recherché

↓

Le choix de la résolution spatiale est crucial!

Disponibilités à bord de satellites:

- faible/moyenne résolution = 1 km / 10 km (AVHRR, POLDER, MODIS, VGT)
- haute résolution = 10 m / 30 m (SPOT, LANDSAT, IRS)
- très haute résolution = m (IKONOS, QUICKBIRD, WORLDVIEW, GeoEye)



Echelles spatiales (1/3)

- Globale

Capteurs « grand champ » à faible résolution spatiale (100 à 1000m/pix)
VGT, ENVISAT, MODIS...

Le continent Africain

Echelles spatiales (2/3)

- Régionale

Conakry (Guinée)

Capteurs à haute résolution spatiale (10 à 30m/pix)
SPOT, Landsat, IRS...

Echelles spatiales (3/3)

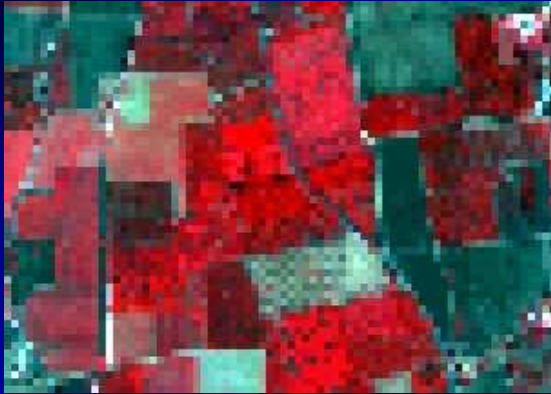
- Locale, voire intraparcellaire

Capteurs à très haute résolution spatiale (0,5 à 4m/pix)
Quickbird, Worlview, GeoEye...

Mukono (Ouganda) Mukono (Ouganda)

Apports de la très haute résolution

SPOT5 (10m)



Apports de la très haute résolution

Quickbird (2,5m)



Apports de la très haute résolution

Quickbird (0,7m)



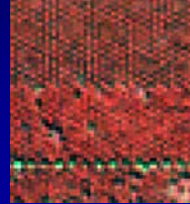
Apports de la très haute résolution

SPOT XS (20m)



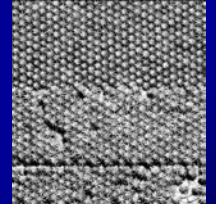
1 pixel ↔ 10 palmiers

IKONOS MS (4m)

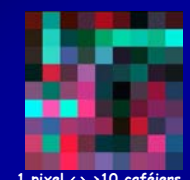


1 pixel ↔ 1-2 palmiers

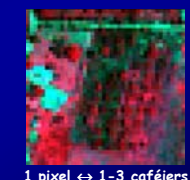
IKONOS P (1m)



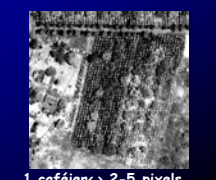
1 palmier ↔ 30-40 pixels



1 pixel ↔ >10 caféiers



1 pixel ↔ 1-3 caféiers



1 caféier ↔ 2-5 pixels

Apports de la très haute résolution

Multispectrale: 2m/pix



Fusion Multispectrale +
Panchromatique: 55cm/pix



Donnée Worldview 2, composition PIR1-Rouge-Vert

Analyse de Texture

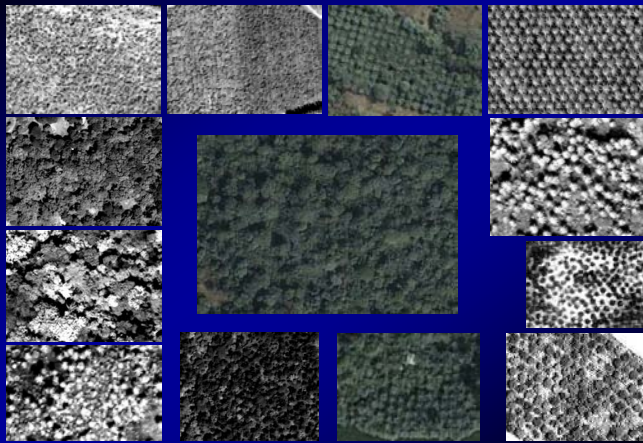
Forme + Configuration

d'un groupe de pixels de niveaux de gris différents
(Lake, 1991)

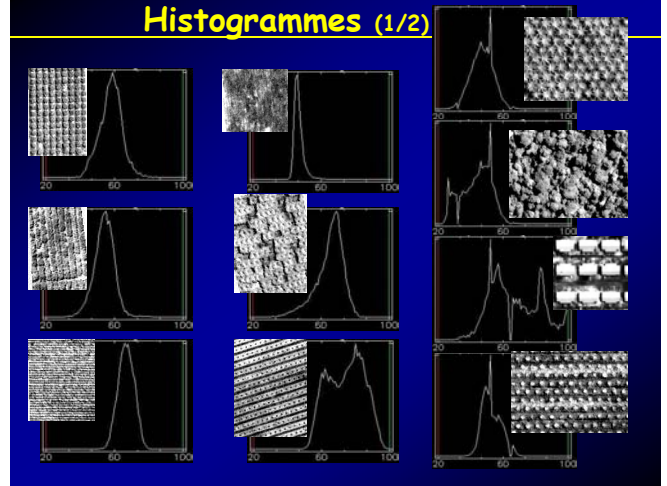
**Impression visuelle d'homogénéité globale
alors qu'il y a une grande variabilité
spectrale ou tonale**

- Possibilité de définir un « motif »
= fenêtre de dimension réduite dans laquelle la perception
est identique pour toute position envisageable par
translation
↳ Primitive ou texon
- Vocabulaire rappelant le « toucher »:
lisse, rugueux, granuleux, strié, tissé, duveteux, etc...

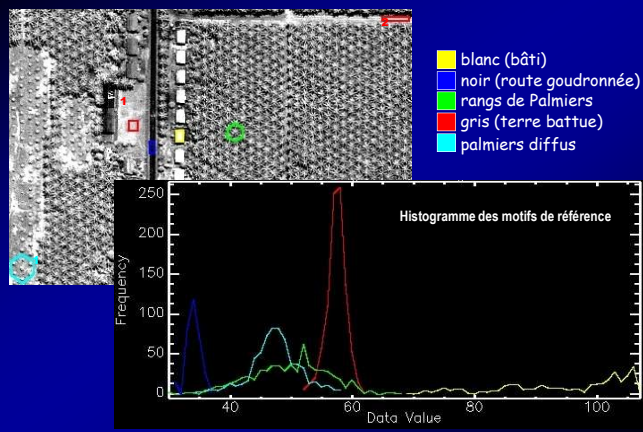
La texture en télédétection THRS



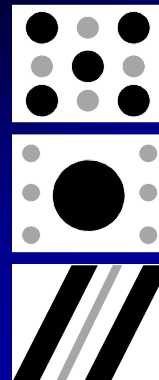
Histogrammes (1/2)



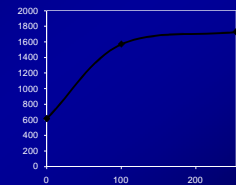
Histogrammes (2/2)



Histogrammes: limite



Histogramme identique !



↳ L'organisation spatiale n'est pas prise en compte

Matrice de Cooccurrence

Matrice des « nombres de fois » qu'on trouve la transition de (i) vers (i+"pas"), dans la direction α (degrés)

Pas = 1
Direction = 0°

Transition de 2 vers 0
Transition de 3 vers 1

2	2	0	3	2
1	3	2	2	1
1	0	1	2	2
1	2	3	1	2
0	1	2	1	2
1	3	3	0	1

		j			
	i \ j	0	1	2	3
0	0	0	3	0	1
1	1	1	0	6	2
2	2	2	2	3	2
3	3	1	2	1	3

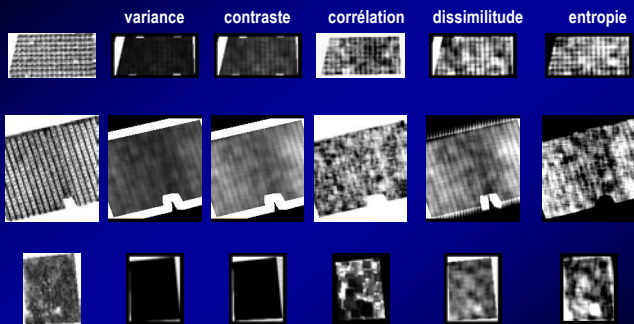
Indices de Texture de Haralick

STATISTIQUES SUR LA MATRICE DE COOCCURRENCE:

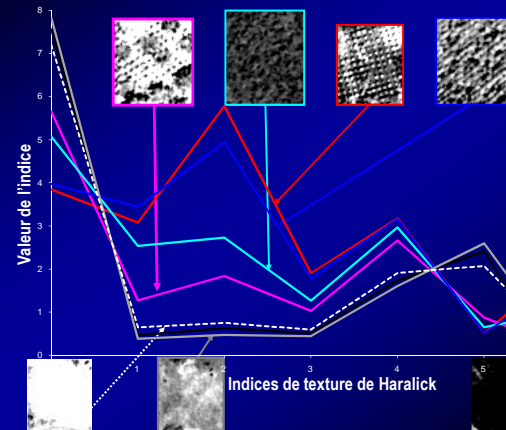
- Moyenne
- Variance (distribution des niveaux de gris dans le motif, ex forêt: tous autour de la moyenne = variance faible)
- Homogénéité ($\sim 1/\text{contraste}$)
- Contraste (changements abrupts de radiométrie dans la zone, ex champs: quasi homogène = contraste faible)
- Dissimilitude ou Energie (niveau de (dés)organisation, quantité d'éléments distincts composant le motif)
- Entropie (granularité de la texture, ex taille des arbres)
- Moment des différences inverses ($\sim 1/\text{corrélation}$)
- Corrélation (uniformité de la texture, ex discrimination stoch./mixte)
- ...

Haralick, R. M., K. Shanmugam, I. Dinstein 1973. Textural Features for Image Classification. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics 3(6) 610-621

Indices de Texture de Haralick

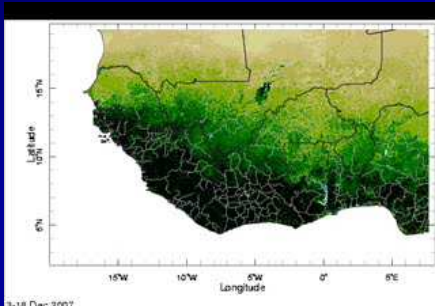


Signature texturale



Echelles temporelles

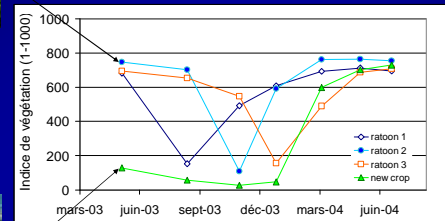
- Constat instantané ou
- Suivi (hebdomadaire, mensuel, annuel, ...)



Evolution de la densité de végétation en Afrique de l'Ouest et du Centre en 2008 (USGS LandDAAC MODIS - NDVI)

Signature temporelle

Variation d'un indice de végétation sur la canne à sucre au cours de la saison: discrimination entre pousses, coupes et repousses



Modes d'extraction de l'information

- 1) Reconnaissance, discrimination, typologie, cartographie:
- Photo-interprétation assistée par ordinateur
- Classifications semi-automatiques

2) Estimation de variables biophysiques

- Inversion des modèles de transfert radiatif
- Indicateurs spectro-spatio-temporels et relations allométriques

Photo-interprétation 1. Compositions colorées

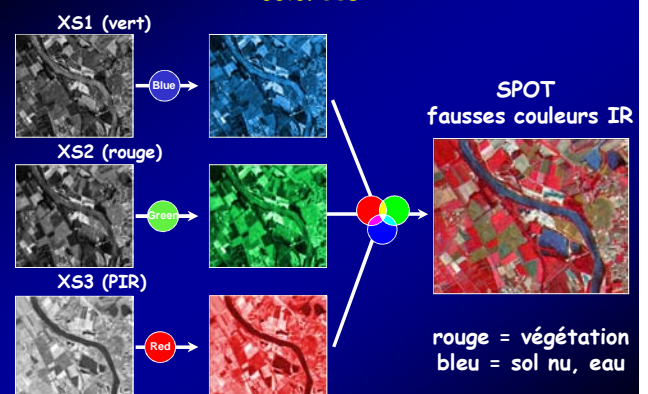


Photo-interprétation 2. Clefs

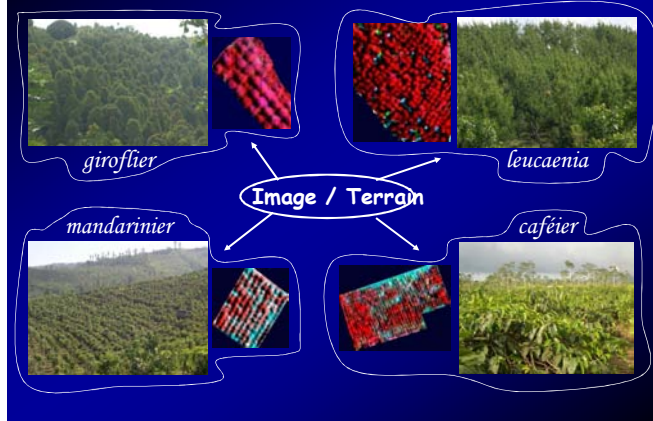


Photo-interprétation 3. Vectorisation



Photo-interprétation 4. Rastérisation



Segmentation

Regroupement itératif d'ensembles de points d'une image selon leur *homogénéité* afin d'obtenir une **partition de l'image en zones homogènes** selon un ou plusieurs critères déterminés: couleur, texture, indice,...

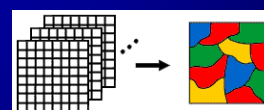
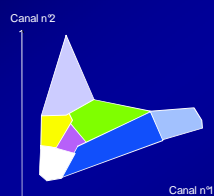
On obtient ainsi la délimitation des « objets »

Segmentation



Classification

Affectation d'un attribut, d'une **catégorie** unique (classe) à un **élément** de l'image (pixel, objet) à partir de **descripteurs** (spectraux, texturaux, de forme, structure, contexte, temporels,...) par partition de l'espace des descripteurs



On obtient ainsi une répartition, un zonage thématique

Classification

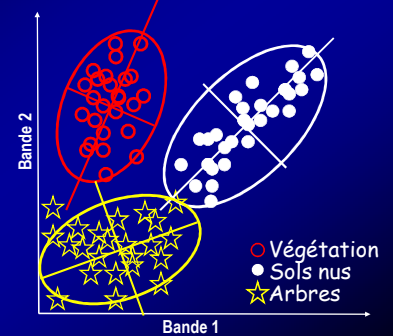


Limites des classifications par pixel

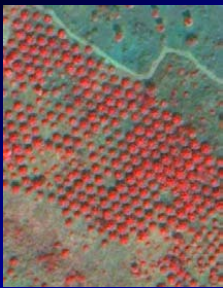


Discrimination de la classe « plantation d'arbres » ?

Partition de l'espace spectral optimum (théorique) pour une classification

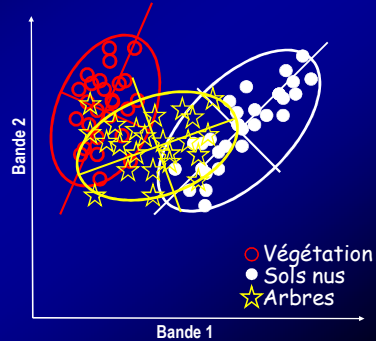


Limites des classifications par pixel



Discrimination de la classe « plantation d'arbres » ?

Impossibilité en réalité d'obtenir une partition de l'espace....



Effet « Poivre et Sel »

Quickbird (0,7m)



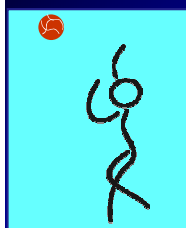
Effet « Poivre et Sel »

Classification K-PPV



Approche orientée objet (principe)

Monde réel

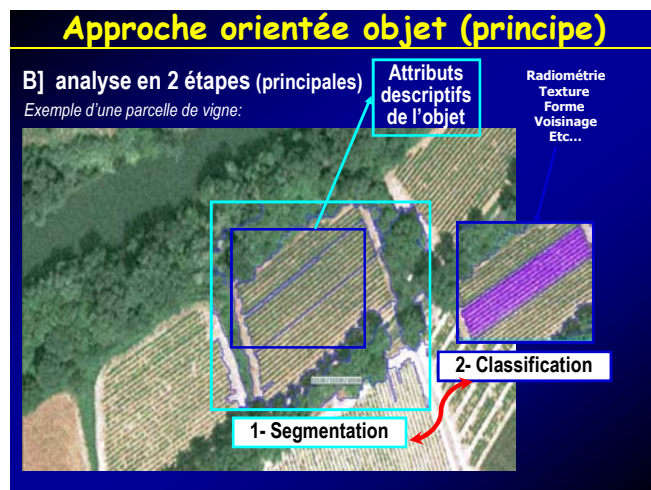
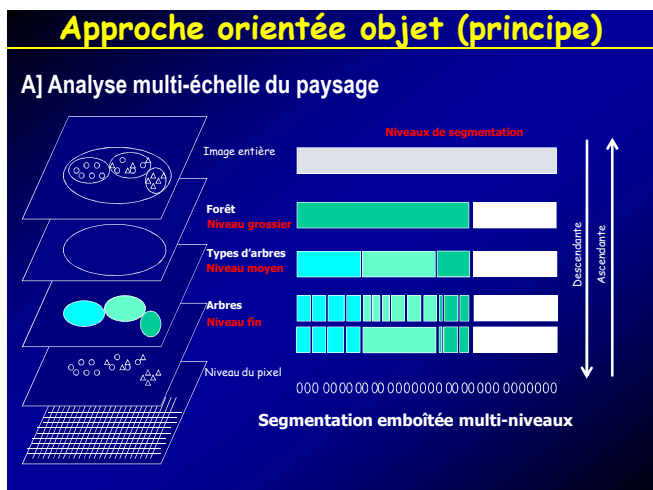


Cerveau

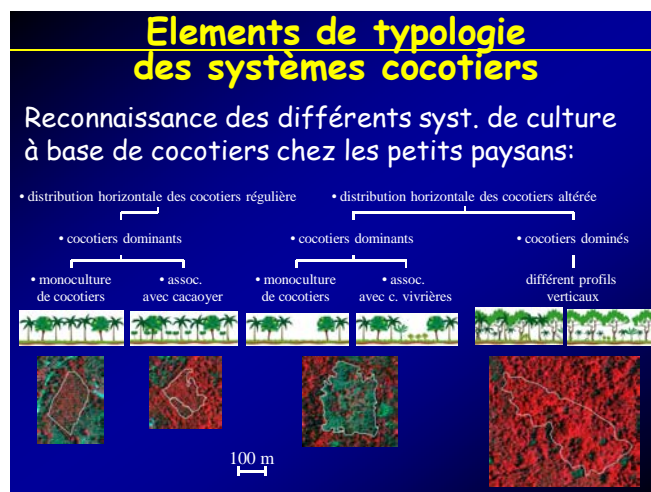
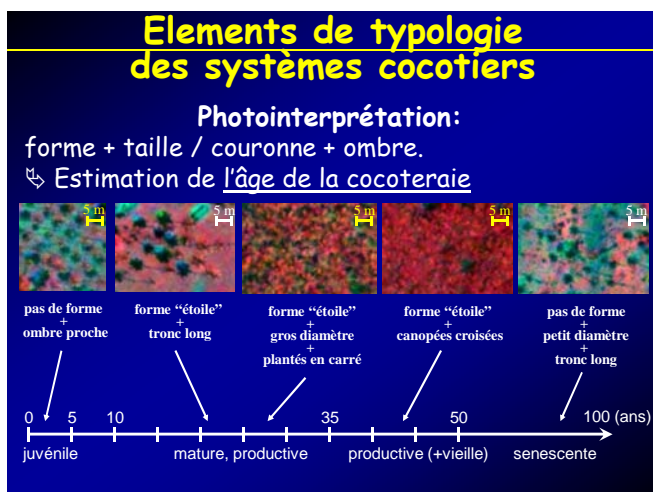
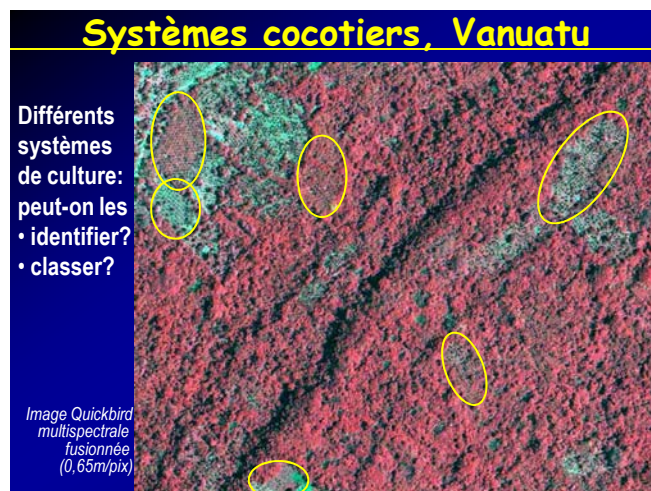


tête + membres
=> une personne
+ un rond rouge
=> une personne joue au ballon
+ un fond bleu
=> une personne joue au ballon en plein air
+ une texture / rond rouge
=> une personne joue au basket en plein air

Processus mental itératif segmentant l'image en objets tout en associant leurs fonctions relatives pour interpréter leur nature (=les classer)

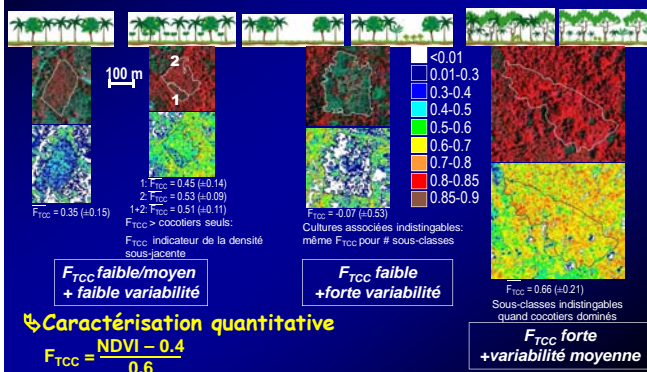


- ## Quelques exemples
- Systèmes complexes à base cocotiers, Vanuatu (Malo)
 - Caféiers en monoculture sous ombrage, Ouganda (Mukono)
 - Estimation du LAI de palmiers, Indonésie (Padang Halaban, Sumatra)
 - Terroir caféier, Indonésie (Kintamani, Bali)
 - Extension des Agroforêts, Guinée (Nienh)
 - Dynamique forestière, Cameroun (Bokito)



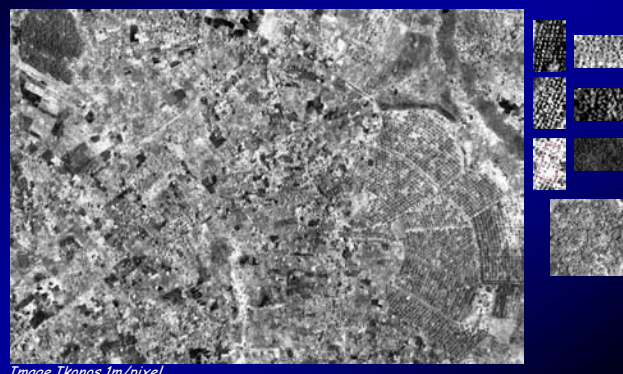
Ouverture de la canopée dans les systèmes cocotiers

Développement d'un indice d'ouverture de la canopée



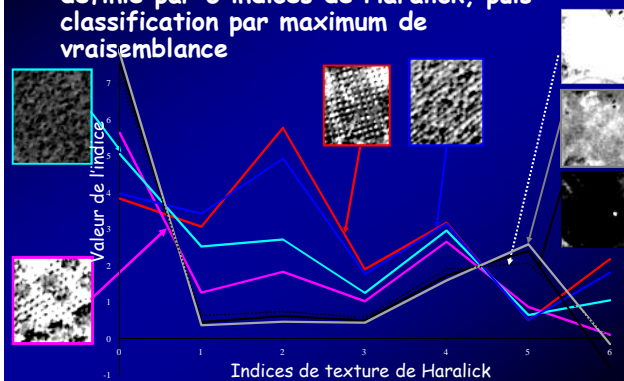
Vergers caféiers, Ouganda

- Repérage par photointerprétation et sélection de motifs/textures caractéristiques

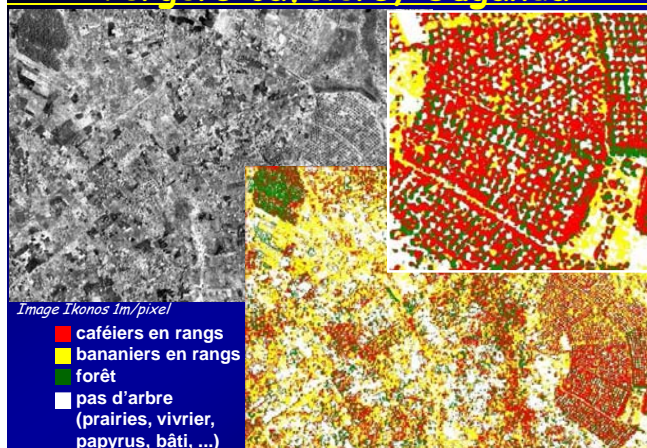


Repérage de vergers caféiers

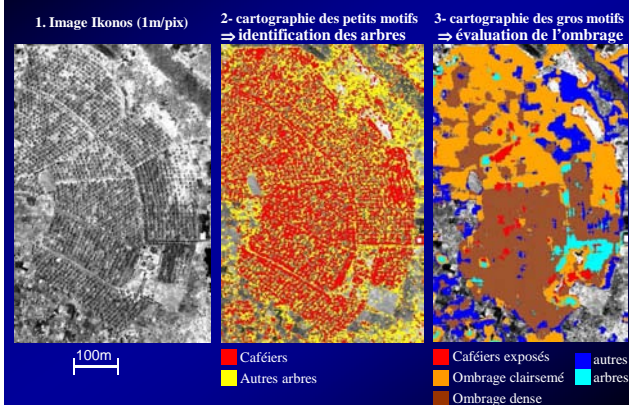
- Analyse de la signature texturale définie par 6 indices de Haralick, puis classification par maximum de vraisemblance



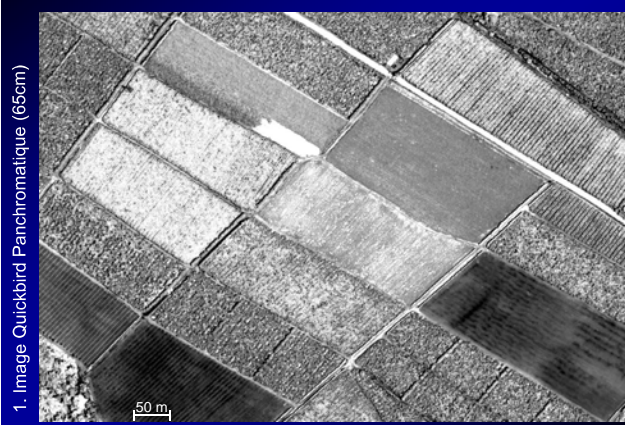
Vergers caféiers, Ouganda



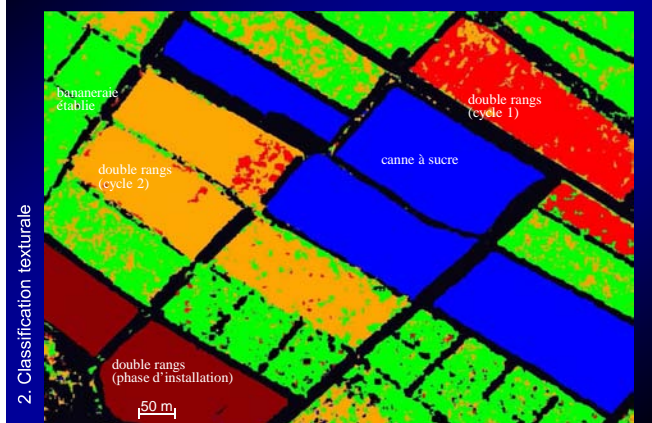
Quantification de l'ombrage



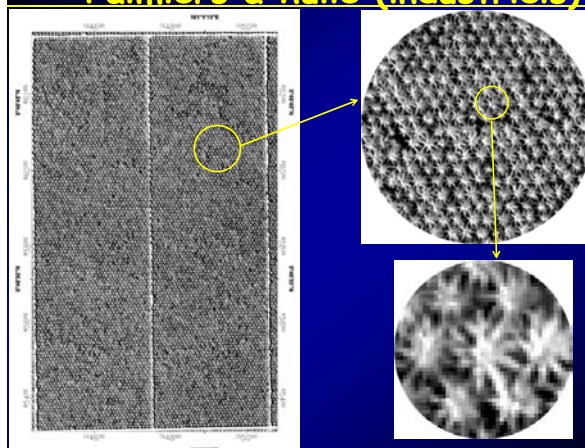
Identification des SdC bananiers



Identification des SdC bananiers

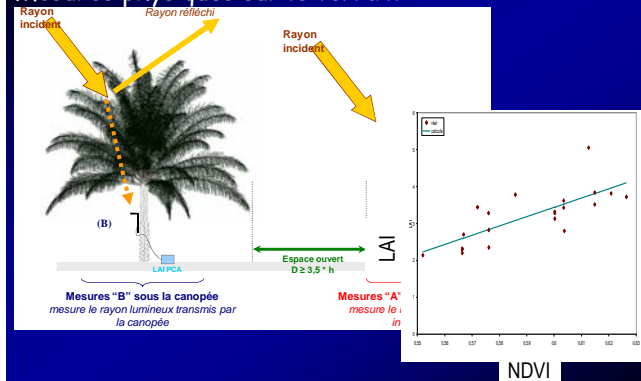


Palmiers à huile (industriels)



Estimation du LAI / arbres

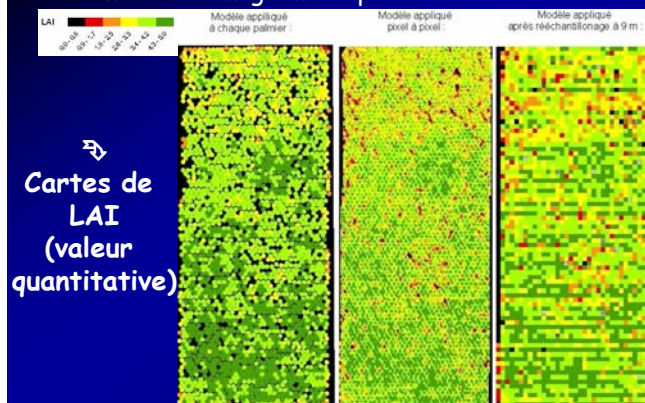
Mesures physiques sur le terrain



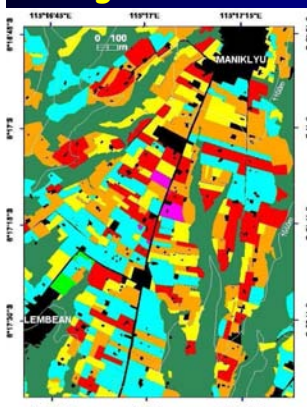
Modèles allométriques

Estimation du LAI / arbres

Traitement de l'image multispectrale



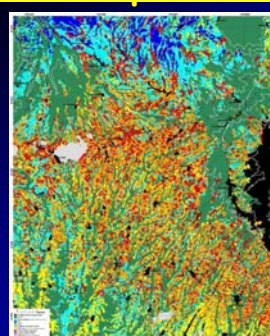
Cartographie des Systèmes Agroforestiers à Bali (Indonésie)



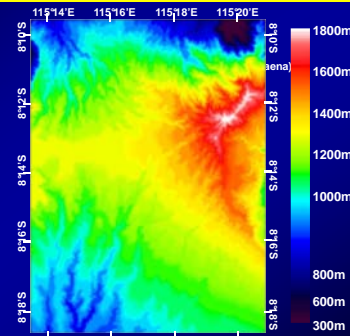
Cartographie fine de l'occupation du sol par photointerprétation à partir d'images Quickbird à 65cm de résolution

- Habitations
- Forêts
- Ombrage dense (erythrina, albizia, leucaena)
- Agrumes
- Cultures vivrières
- Arabica sous agrumes
- Arabica sans ombrage

Compréhension des territoires

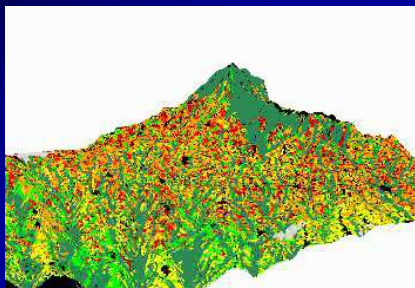


Cartographie des systèmes de culture



Cartographie de la topographie

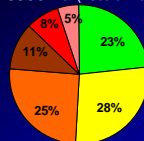
Compréhension des territoires



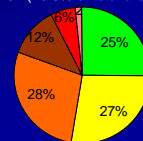
Terroir du café Arabica de Kintamani, Bali (Indonésie)

Hypsométrie

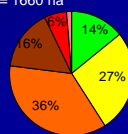
Surface totale ≥ 1000 m
= 16500 ha (75% of frame)



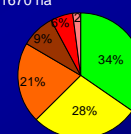
Surface plantée en arabica ≥ 1000 m
= 3400 ha (20.6% of total area)



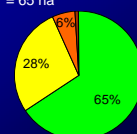
Arabica sous agrumes
= 1660 ha



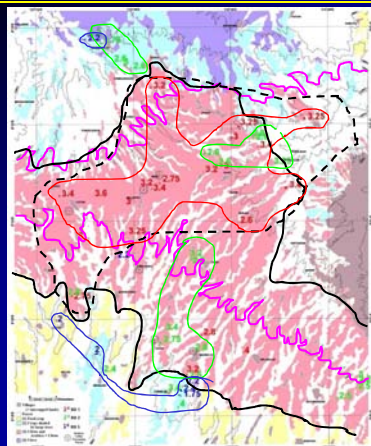
Arabica sous ombrage dense
= 1670 ha



Arabica sous girofliers
= 65 ha



Délimitation d'un terroir



Croisement avec les analyses sensorielles de la tasse (ACIDITÉ)

3.6 • Bon
2.4 • Moyen
1.8 • Mauvais

Centres de production

« Agrorégions »

■ Giroflier
■ Ombrage dense
■ Agrumes
■ Vivriers

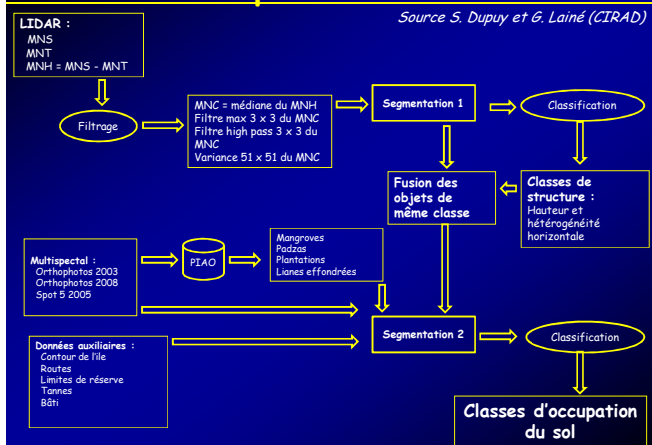
— Rough limits of quality group
— Unjustified limit of quality group
— Objective limits of quality group based on citrus agregion borders
— Objective limits of quality group based on 1200m altitude level

Repérage des Agroforêts à Mayotte

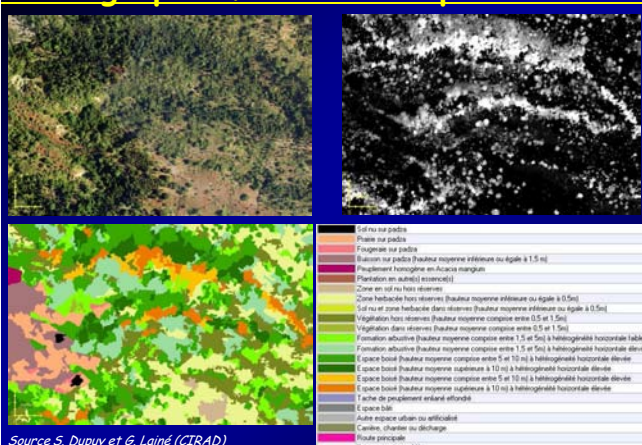


Chaîne complexe de traitements

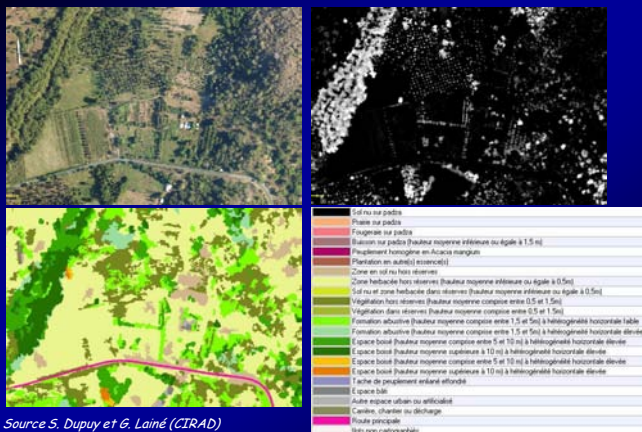
Source S. Dupuy et G. Lainé (CIRAD)



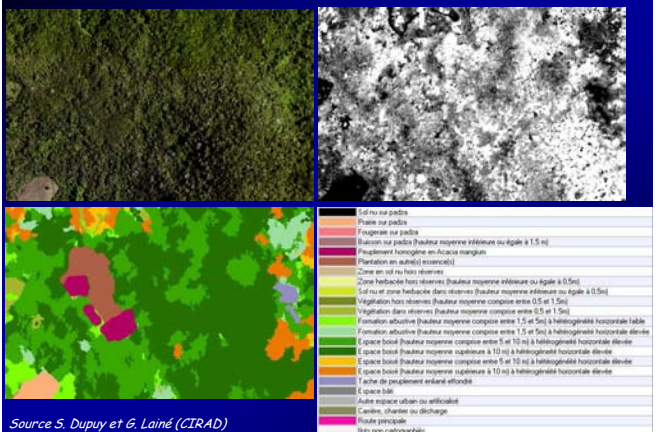
Cartographie fine de l'occupation du sol



Cartographie fine de l'occupation du sol



Cartographie fine de l'occupation du sol



Dynamique forestière, Cameroun



Région de Bokito

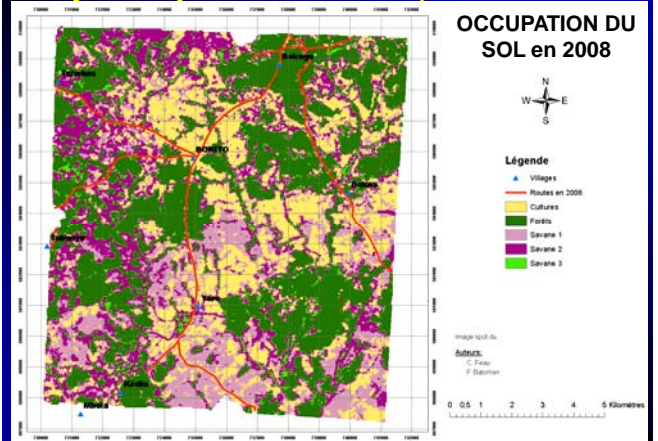
Image SPOT
2008

+

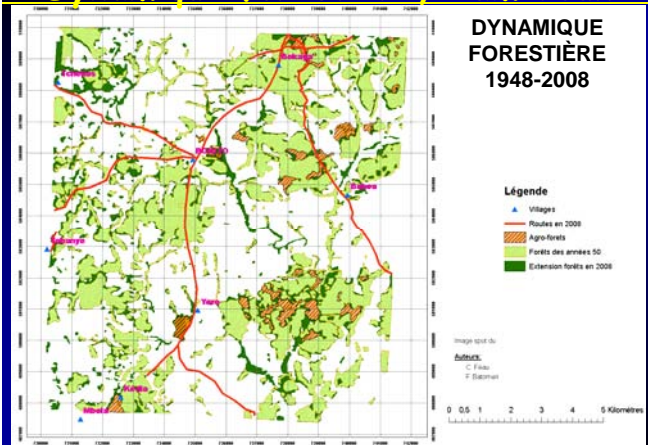
Image aérienne
1948

(source: C. Féau et F. Batomen)

Dynamique forestière, Cameroun

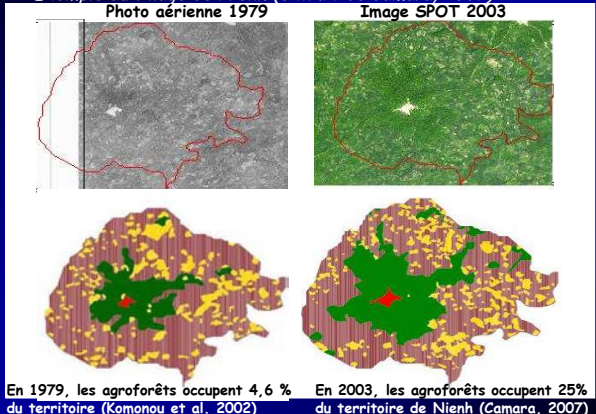


Dynamique forestière, Cameroun



Extension des agroforêts, Guinée

Exemple du village de Nienh (extrait de Camara, 2007)



Projets au Cameroun

Caractérisation de la structure de plantation des systèmes agroforestiers par télédétection à très haute résolution spatiale

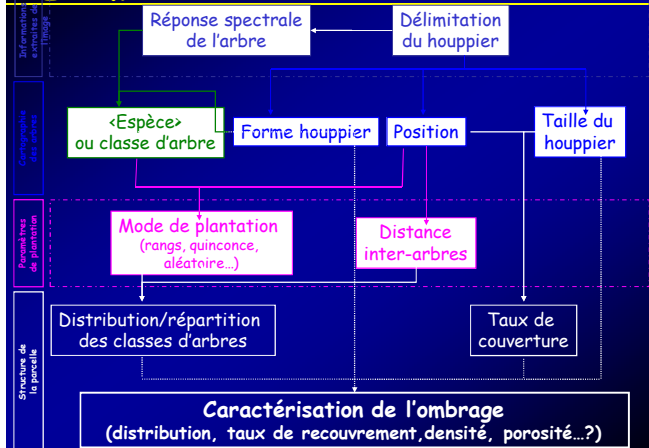
- Développement d'outils sur le cas particulier du cacao et la région de Bokito
- Mise en œuvre et validation sur d'autres SAF et régions au Cameroun (café, ...)
- Généralisation aux SAF africains

- Thèse Manuel Castela
- Projet EuropeAid
- Programme National de Télédétection Spatiale (+CNES)
- ...

Questions de recherche

- est-il possible de délimiter les différents objets qui constituent la structure (arbres ou strates arborées, vivrier...)?
- est-il possible d'identifier les différentes classes d'arbres cultivés?
- quels indicateurs de structure peut-on extraire à partir de ces données?
- peut-on établir une typologie fine des SAF basée sur leur structure et leur composition?
- peut-on extraire des indicateurs de production à partir de la donnée de télédétection?
- quel est l'apport de l'approche géomatique vs. terrain ?

Estimation d'indicateurs de structure



Zone d'étude

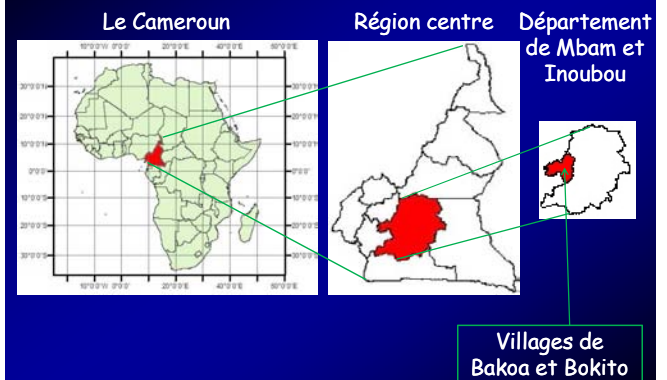
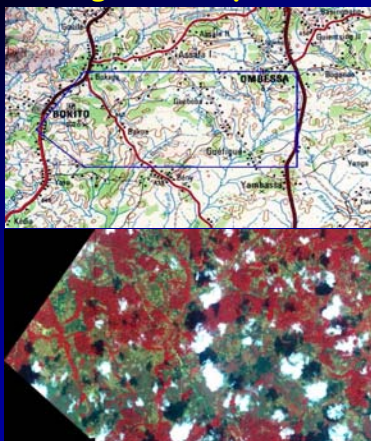


Image multispectrale WorldView 2



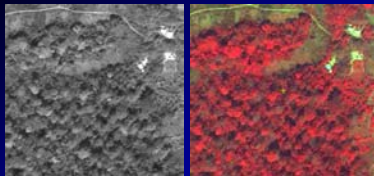
- ✓ 0,55cm/pix en panchromatique
- ✓ 2m/pix en multispectral
- ✓ 8 bandes spectrales VIS-PIR
- ✓ 21 février 2011

Systèmes agroforestiers à base cacao



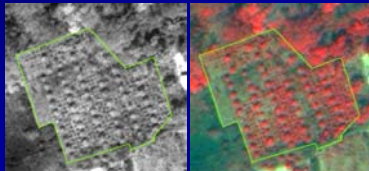
Systèmes agroforestiers à base cacao

Systèmes traditionnels



- ✓ ombrage très dense
- ✓ grande diversité d'arbres
- ✓ organisation aléatoire, complexe

Systèmes dits « innovants »



- ✓ nombre limité de classes d'arbres
- ✓ structuration déterministe
- ✓ espacements réguliers



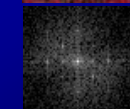
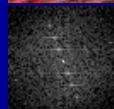
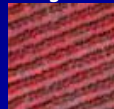
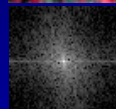
Paramètres de Fourier

Motif du spectre de Fourier de la parcelle = représentatif de la structure de plantation

Non périodique

Lignes

Grille



Paramètres de Fourier

1) N_p = Nombre de Pics (en dehors du centre)

Si $N_p > 2$: périodique

Si $N_p \leq 2$: non périodique

stop

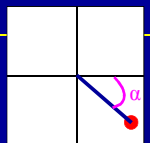
2) α = angle entre abscisses et pic
= orientation de la plantation dans l'image

Si 1 seul α : rangs

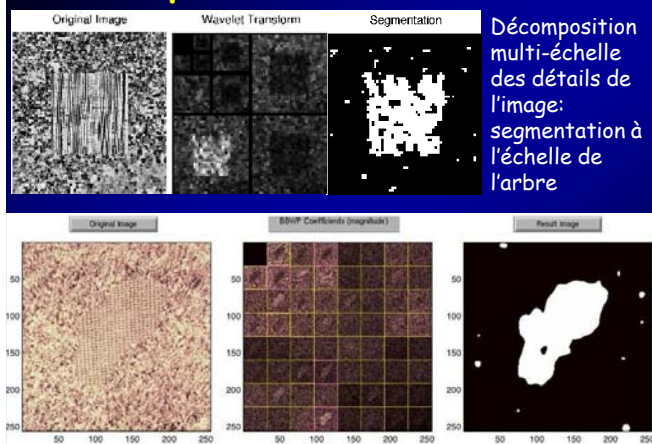
Si plusieurs α : plantation en grille

3) $d_1 + d_2$ = Distances pics / centre
= largeur du rang et de l'inter-rang

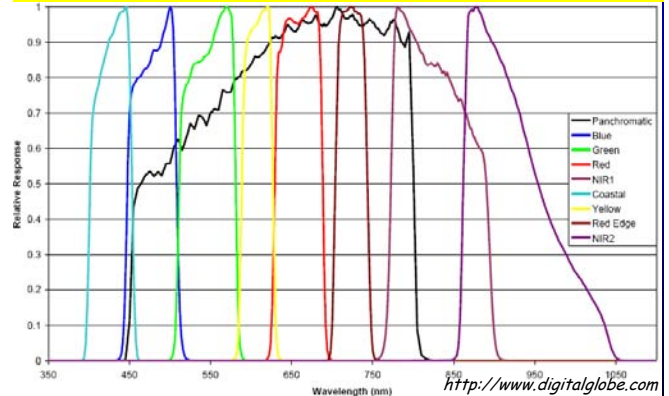
3) d = Distance pic / centre
= taille de la grille



Exploration: Ondelettes



Apports de l'enrichissement spectral ?



Discrimination des types d'arbres? Estimation d'indicateurs de production? Détection d'attaques / bioagresseurs?

Enjeux pour les SAF (1/2)

- Structure spatiale intraparcellaire
- Cartographie, estimation des surfaces
- Positionnement dans le paysage, la région, la toposéquence, le réseau hydrographique, ...
- Estimation de paramètres biophysiques/agro
- Evaluation de l'état sanitaire, détection de foyers de maladie, ...

↳ **Evaluation agronomique des SAF**

Enjeux pour les SAF (2/2)

- Suivi des itinéraires techniques (à l'échelle de la parcelle, de la concession)
- Suivi de la dynamique spatiale des territoires: extensions, remembrements, déplacements, ...

Service vs recherche

Points nécessitant de forts développements méthodologiques :

- Typologie, avec (re)définition basée sur des caractéristiques structurales
- Quantification + caractérisation de l'ombrage
- Détection des maladies et épidémiologie
- Performances agronomiques
- Dynamiques

Service vs recherche

Contraintes principales:

- Complexité (hétérogénéité + discontinuité) des milieux, réadaptation des techniques actuelles
- Asservissement aux enquêtes de terrain, mise en place de protocoles de diagnostic
- Coût des images à très haute résolution et des séries temporelles d'image

Evaluation agronomique et conception de systèmes de culture agroforestiers

Nathalie Lamanda



nathalie.lamanda@cirad.fr

Nathalie Lamanda
Agronome système

nathalie.lamanda@cirad.fr



Thématique de recherche:

Evaluation agroécologique de systèmes de culture agroforestiers en zones tropicales humides (en vue de la conception de systèmes innovants)

2001-2004: Pacifique Sud (Vanuatu) : SAF cocotiers

Depuis 2006 : Afrique (Guinée, Kenya, Cameroun) : SAF caféiers et cacaoyers

Mots clés: agroforêts, évaluation multicritère, diversité, production, multi-fonctionnalité

Publications:

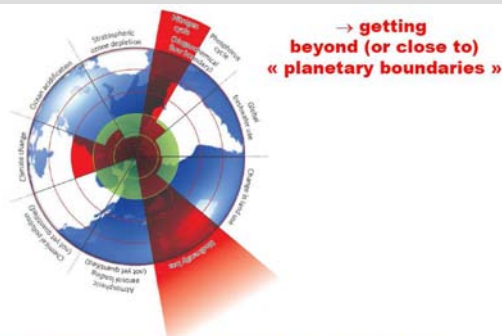
- Lamanda et al. CMA (soumis)
- Lamanda et al. Trade-offs (soumis)
- Rouspard O., Lamanda N. et al. 2008. Coconut carbon sequestration, part 1: Highlights on carbon cycle in coconut plantations. Coconut Research and Development (CORD) 24: 1-14
- Lamanda N. et al (2007). Using 3D architectural models to assess light availability and root bulkiness in coconut agroforestry systems. Agroforestry Systems: vol 72, n°1, 63-74.
- Lamanda, Nathalie et al. (2006) Structure and dynamics of coconut-based agroforestry systems in Melanesia: A case-study from the Malo Island, Vanuatu archipelago. In: B.M. Kumar and P. K. R Nair (eds) Tropical Homegardens, coll. *Advance in Agroforestry* vol 3, Springer. 105-120.
- Lamanda et al. (2004) Organisation spatiale et dynamique des systèmes de culture à base de cocotiers (*Cocos nucifera* L.) dans une île mélanésienne. In : *Agricultures*, vol.13,n°6, p. 459-466

L'objet de ma présentation:

1. Les nouveaux enjeux de l'agriculture: l'intensification écologique
2. Les systèmes agroforestiers : un modèle pour l'intensification écologique ?
3. Quelques exemples d'évaluation agronomique de systèmes de culture agroforestiers
4. Quelques pistes pour la conception de systèmes de culture innovants
5. Débat

1- De nouveaux enjeux pour l'agriculture : l'intensification écologique

De nouveaux enjeux pour l'agriculture

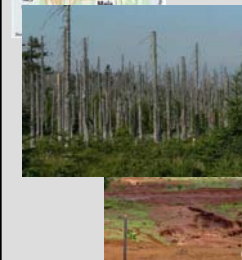


Human activities have resulted in major damages on biodiversity and ecosystem services, especially C, N and P biogeochemical cycles (Rockström et al. 2009 - *Nature* 461)

Extrait cours « intensification écologique » SupAgro, Blanchard, 2011

De nouveaux enjeux pour l'agriculture :

Matières premières agricoles



- 70% de production en plus sont nécessaire pour nourrir la planète (9 10⁹ en 2050) toujours un vrai défi (Griffon,2006)

- Progressive prise en compte des impacts environnementaux des activités humaines, en particulier de l'agriculture
Millennium Goal Assessment (2005)

Urgence à Produire plus tout en limitant les impacts sur l'environnement

Intensification écologique

M. Griffon : « seule une agriculture écologique intensive pourra permettre de répondre durablement aux besoins futurs de la planète »



Michel Griffon
Pour des agricultures
écologiquement intensives



« L'agriculture doit effectuer une véritable révolution technologique et culturelle pour accompagner de politiques agricoles nouvelles. »



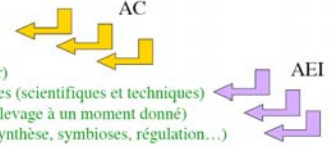
➡ Une agriculture écologiquement intensive, c'est quoi ?

Agriculture écologiquement intensive

Une agriculture intensive est une agriculture qui utilise davantage de facteurs de production (travail, capital...) par unité de surface. Plus une agriculture est intensive, plus la production par hectare est élevée.

Facteurs de production :

- travail
- capital (intrants)
- énergie (force motrice ou chaleur)
- savoir (traditionnel), connaissances (scientifiques et techniques)
- information (état des cultures et élevage à un moment donné)
- services des écosystèmes (photosynthèse, symbioses, régulation...)



Ces facteurs sont en partie substituables ou au contraire complémentaires

IE : mieux utiliser les fonctions des écosystèmes, les processus écologiques, mais aussi l'information, le savoir

D'après Bonny, ISDA, 2010

Extrait cours « intensification écologique » SupAgro, Blanchard, 2011

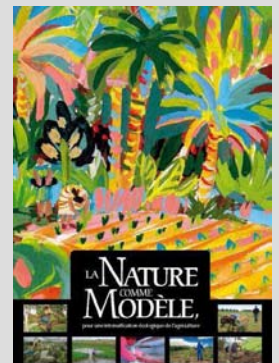
Agriculture Écologiquement Intensive : un changement de paradigme et de posture nécessaire et urgent

Alors que l'accroissement de la production agricole demeure une préoccupation majeure, le modèle d'une agriculture fondée sur l'utilisation intensive et massive des pesticides, d'engrais chimiques, d'eau et d'énergie fossile est aujourd'hui remis en cause. Il est devenu une nécessité autant qu'un défi de rompre avec le paradigme habituel d'une agriculture qui artificialise, uniformise et standardise toujours plus et qui force le système biologique. Pour effectuer cette rupture, l'agriculture doit s'appuyer sur les processus et les fonctionnalités écologiques qui permettent de lutter contre les bioagresseurs, de réduire les nuisances, de mieux valoriser les ressources rares, comme l'eau, ou encore d'améliorer les services écologiques (stockage de carbone, diversité biologique, prévention des catastrophes dites naturelles) : c'est l'intensification écologique.

CIRAD, 2008 Extrait cours « intensification écologique » SupAgro, Blanchard, 2011

Concevoir des systèmes multifonctionnels (productions et services) pour répondre aux attentes des agriculteurs et des sociétés

- Intensifier les processus écologiques est très différent de protéger l'environnement
- Réintroduire la diversité biologique dans les systèmes de culture



La biodiversité, support des services écosystémiques

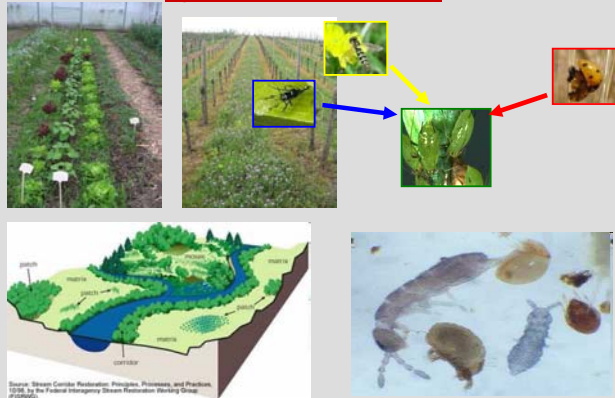


Lien entre les services écosystémiques et le bien-être humain



MEA, 2005

Réintroduire la diversité biologique dans les systèmes de culture



Reconsidérer les pratiques et systèmes alternatifs jugés désuets ou marginaux au regard des critères de l'agriculture intensive (intrants)



2- Les systèmes de culture agroforestiers : un modèle pour l'intensification écologique ?

"L'agroforesterie désigne l'ensemble des systèmes et des techniques d'utilisation des terres où des plantes ligneuses vivaces sont délibérément associées aux cultures ou à la production animale sous forme d'un arrangement spatial ou d'une séquence temporelle prenant place sur une même unité de gestion de la terre. Les systèmes agroforestiers sont caractérisés par des interactions écologiques et économiques entre leurs diverses composantes » ICRAF

Agroforestry Systems 64: 5-17, 2004.
© 2004 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.

Agroforestry and the achievement of the Millennium Development Goals

D.P. Garrity
World Agroforestry Centre, United Nations Avenue, P.O. Box 30677-00100, Nairobi, Kenya;
e-mail: d.garrity@cgiar.org <http://www.worldagroforestry.org/>

Les systèmes agroforestiers : des systèmes multifonctionnels

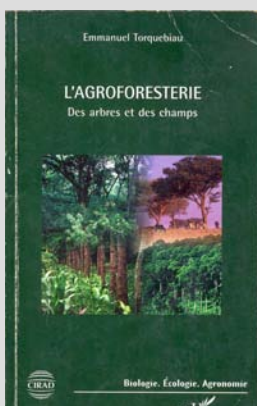
Productions

Cultures commerciales
Bois de feu,
Bois d'œuvre,
Fourrage
Nourriture (fruits)
Mulch,
Médicaments
Gommes, résines
Fibres, cires,
Tannins, huile, etc

Services

Conservation de la biodiversité (animale et végétale)
« Conservation du sol »
(lutte contre érosion, maintien de la fertilité physico chimique)
Régulation du microclimat
(eau, température, lumière)
Marquage du parcellaire
Rôles culturels, etc.

Agroforesterie : définition

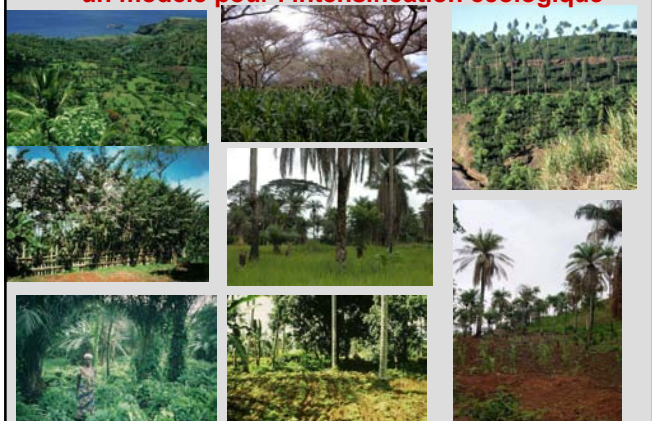


Pratiques consistant à combiner, de manière séquentielle ou simultanée une diversité de plantes dont certaines ligneuses afin d'obtenir des produits et services utiles à l'homme

(à partir de Torquebiau, 2000)

→ Une diversité de systèmes agroforestiers

Les SAF : un modèle pour l'intensification écologique



Principe de classification structurelle des SAF

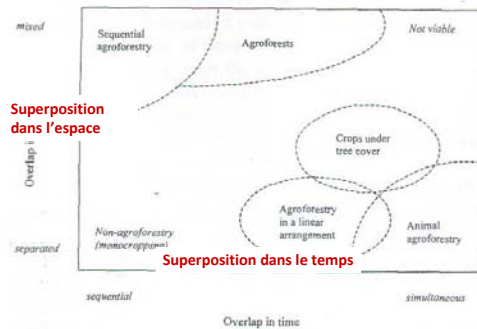


Figure 1. Classification of agroforestry as a function of the time and space overlap of trees, crops and animals (adapted from [45]).
Torquebiau E.F. (2000). A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Vie. 323 : 1009-1017.

A l'échelle des parcelles :

Diversité de composition, d'organisation des espèces dans l'espace et le temps

Quelques exemples....



Karité et Néré conservés dans les cycles jachère/vivrier (Guinée)



Agroforêts à caféier robusta (Guinée)

Système agroforestier à base de cacaoyer (Cameroun)

Diversité des SdC Agroforestiers

- Diversité de contextes socio-économiques et de zones agro-écologiques concernés



- Différents continents
- Différentes écologies (zones sèches – zones humides)
- Différentes densités de population
- Différentes opportunités de commercialisation des produits et services



Jardins vivriers et cocotiers (Vanuatu)



Des arbres ou cultures ligneuses

→ des dynamiques sur le long terme



Lamanda, 2005

Des arbres

→ des dynamiques sur le long terme

Avec passage d'un type de système agroforestier à un autre au cours du temps

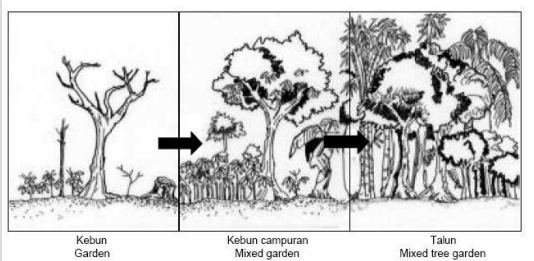
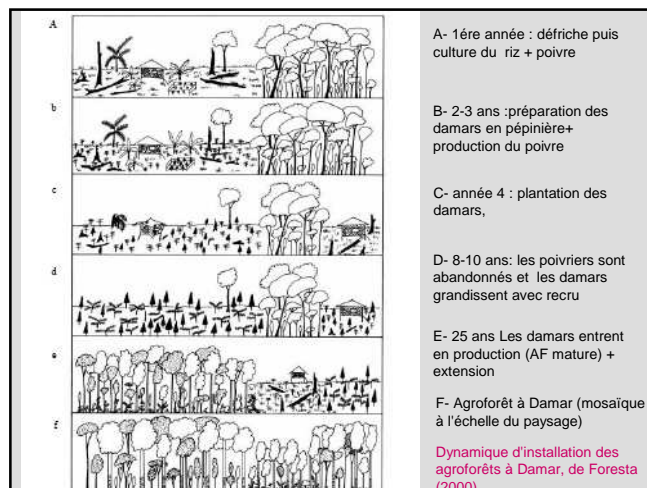


Figure 1. The talun/kebon system (Adapted from FAO and IIRR, 1995)

Extrait de Foresta et al, 2000



Processus d'afforestation des savanes accéléré par les activités humaines

Happy, 1998, Jagoret, 2007, Michel 2010

Agroforesterie :

des pratiques anciennes

• Des pratiques anciennes

- au Nord : « avant la mécanisation »
 - Les bocages
- au Sud : encore aujourd'hui
 - les agroforêts à Damar (G. Michon)
 - Les jardins de cases, les cultures associées,
 - Les parcs associant arbres et élevage, arbre et culture
 - Les haies mélangées...

• Des pratiques dynamiques

- selon les contextes socio-économiques, écologiques, politiques (intensification)

mais un objet d'étude récent ...

- « deux points de départ » (dans les années 1980) :
 - ICRAF : expérimenter de nouvelles techniques pour limiter les intrants chimiques / érosion
 - Université Montpellier II : caractérisation des agroforêts indonésiennes

• une approche multidisciplinaire :

- Agronomie, Défense des cultures, Science du sol
- Ecophysiologie
- Botanique,
- Sociologie
- Economie...

→ qui suscite des controverses sur leurs performances

- Des systèmes de culture d'abord mis en avant pour la fourniture de services environnementaux (conservation, préservation de l'environnement)

- Conservation de la biodiversité (végétale et animale)
- Stockage du Carbone
- Qualité de l'eau
- Usages sociaux

Nature

- Productivité longtemps jugée médiocre, en regard de ceux atteints avec une plus grande artificialisation du milieu (intrants pour la culture pivot)

- « Séparer ou Associer » : un long débat ..
- Etude sur les Land Equivalent Ratio des associations (diversité de situations mais des productivités supérieures existent)

Agriculture

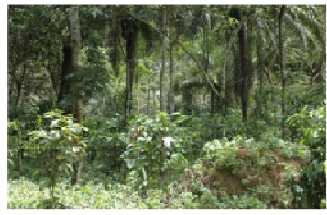
Forêt

Avec la prise de conscience des impacts de l'agriculture sur les ressources naturelles, ces systèmes de culture sont reconsidérés par les agronomes

- Gestion des risques économiques, climatiques, parasitaires
- Production multiple, sur le long terme + services

Les SAF: un modèle pour Intensification Ecologique

- Agriculture non mécanisée
- Forte diversité spécifique
- Forte hétérogénéité parcellaire (intra et inter)
- Diversité des usages du peuplement
- Pilotage différencié des composantes
- Dynamique pilotée sur le long terme



Equilibres entre Productions et Services écosystémiques originaux

Mis en place depuis longtemps par les agriculteurs pour répondre à une combinaison d'objectifs

Des situations existantes (non reproductible en milieu contrôlé)

desquelles s'inspirer pour l'Intensification Ecologique

Retour vers le passé ou agriculture d'avenir ?



Vendange entre Cormiers de 10 ans – Restinclières (Hérault) – 2010 (Agrofoot)

Evaluer les performances de ces systèmes pour dépasser les controverses.. et concevoir des agro-écosystèmes multifonctionnels (socialement, économiquement et environnementalement satisfaisants)

3- Évaluation agronomique de systèmes de culture agroforestiers

Quelques exemples

- Evaluation des systèmes existants...

Objectifs et objet de l'évaluation des systèmes de culture

Evaluer un SdC = Porter un jugement sur les systèmes de culture existants :

- Pourquoi et pour qui ?
- Sur quoi ? Par rapport à quoi
- Quand et Comment ?

Extrait cours Master SupAgro, Wery, 2011

Agroforest. Syst. 2011
DOI 10.1007/s10457-010-9368-x

Evaluer la production des SAF

Long-term dynamics of cocoa agroforests: a case study in central Cameroon

Patrick Jagoret · Isabelle Michel-Dominas · Eric Malézieux

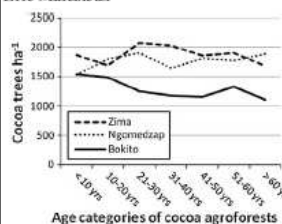


Fig. 3 Variation in measured in 402 coco

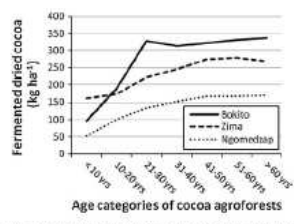


Fig. 4 Variation in fermented dried cocoa yields over time

Maintien des densités et des rendements de cacaoyers dans les SAF au cours du temps (un aspect de la durabilité des SAF)

Evaluer le service « conservation de la biodiversité » des SAF

Biodivers. Conserv.
DOI 10.1007/s10531-010-9800-6

ORIGINAL PAPER

Conserving forest tree diversity in Guinée Forestière (Guinea, West Africa): the role of coffee-based agroforests

Mickaël Correia · Moussa Diabaté · Pépé Beavogui · Kaman Guilavogui · Nathalie Lamanda · Hubert de Foresta

- Objectif /action visée: Connaître la structure du peuplement et le niveau de biodiversité dans les agroforêts
- Utilisateur : chercheur
- Echelle considérée: les parcelles agroforestières d'un village, d'une région
- Indicateurs: densité et structure du peuplement composition floristique → indices de diversité
- Référence: « Forêt naturelle »

Structure du peuplement

A l'échelle des villages

À un moment donné

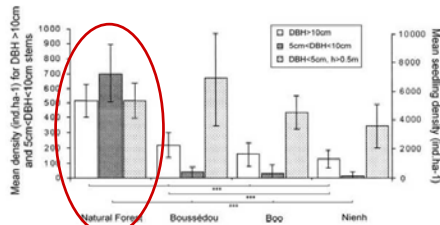


Fig. 5 Mean density of the three size classes of trees on each site. Bars below the graph point significant differences between the sites (***) $P < 0.001$

Correia et al. 2010

Structure du peuplement

A l'échelle des villages

À un moment donné

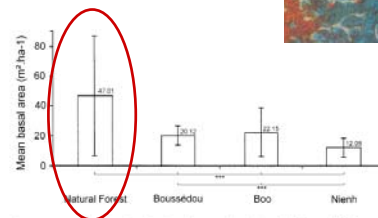


Fig. 6 Mean basal area on each site. Bars below the graph point significant differences between the sites (***) $P < 0.001$

Correia et al. 2010

Diversité du peuplement

A l'échelle des villages

- 94 espèces d'arbres de DBH > 10cm relevées dans les 60 parcelles agroforestières (*Cola nitida* et *Elaeis guineensis* représentent en terme d'abondance 45% de tous les individus de DBH > 10cm relevés)
- 134 espèces sur les 20 parcelles de forêt naturelle

Table 3 Diversity of mature trees (DBH > 10 cm). Species richness estimators and diversity indices were calculated with N min. = 376

	Boussédou	Boo	Nienh	Natural Forest
N	583	458	376	795
S	66	64	46	134
Rarefaction	54	60	46	102
Chao 1	75	76	53	222
ACE	88	77	52	183
Simpson (1/D)	9.20	10.30	5.74	43.44
Shannon	2.90	3.06	2.53	4.27
Fisher's Alpha	16.70	19.50	13.76	46.17

N: number of collected trees, S: number of encountered species, ACE: Abundance-based Coverage Estimator of species richness (Chao and Lee, 1992)

Correia et al. 2010

Diversité du peuplement

A l'échelle des villages

Table 6 Similarities between study sites for mature trees (Sorensen index)

	Boussédou	Boo	Nienh	Natural Forest
Boussédou	—	0.620	0.660	0.381
Boo		—	0.666	0.414
Nienh			—	0.364

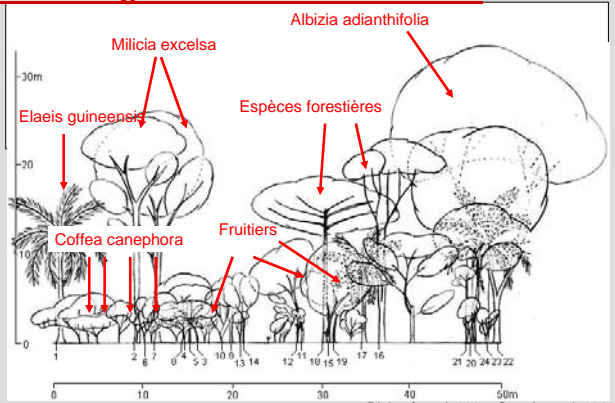
- Les trois agroforêts ont des compositions arborées proches mais celles-ci sont influencées par la distance à la forêt

- 40% des espèces inventoriées dans la forêt de Ziamia ont été relevées dans les agroforêts
→ mais les espèces forestières sont généralement représentées par peu d'individus au sein des agroforêts à café et/ou présentes que dans l'une des trois agroforêts.

➔ Agroforêts participent à la conservation de la diversité arborée régionale mais ne remplacent pas la forêt !

Correia et al. 2010

Un exemple de la structure verticale des agroforêts à café de Guinée



Diabaté et al. 2007; Correia et al. 2010

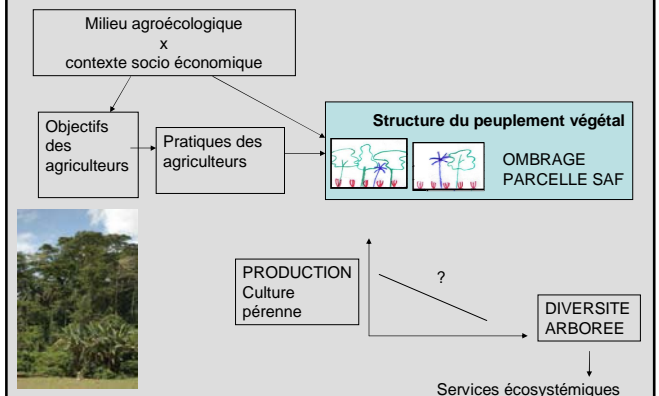
Evaluer pour connaître les compromis entre production et services fournis par les SAF ?



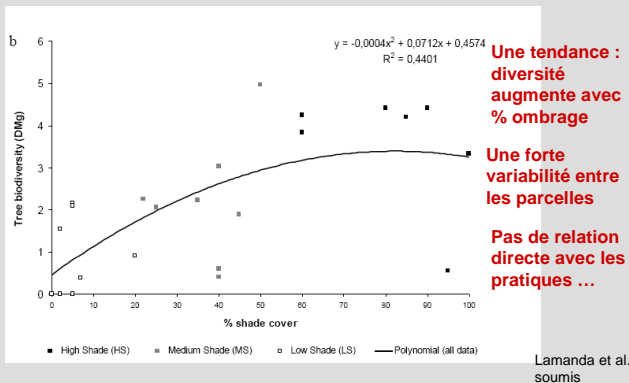
Evaluer les SAF pour identifier les compromis entre services et production

- **Objectif** : identifier la diversité des situations pour le compromis entre production de café et conservation de la diversité qu'elles fournissent
- **Utilisateur** : chercheur
- **Echelle considérée** : parcelles agroforestières d'un village
- **Indicateurs** :
 - densité et structure du peuplement composition floristique → indices de diversité
 - Rendement en café (kg/ha/an)
 - Niveau d'ombrage (résultant des pratiques des agriculteurs)
- **Références** : « Forêt naturelle » et monoculture de café

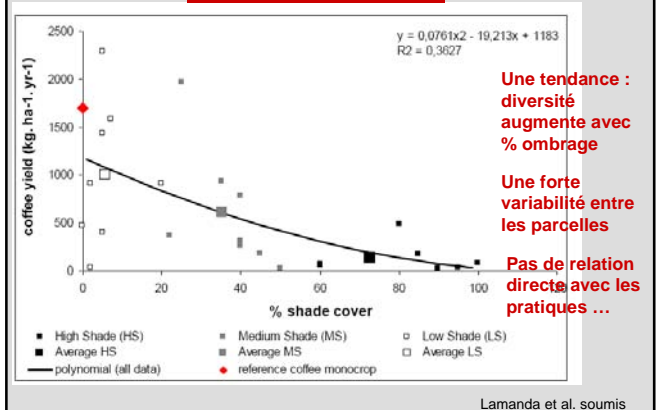
Evaluer le compromis services / productions des SAF à l'échelle de la parcelle (à temps t)



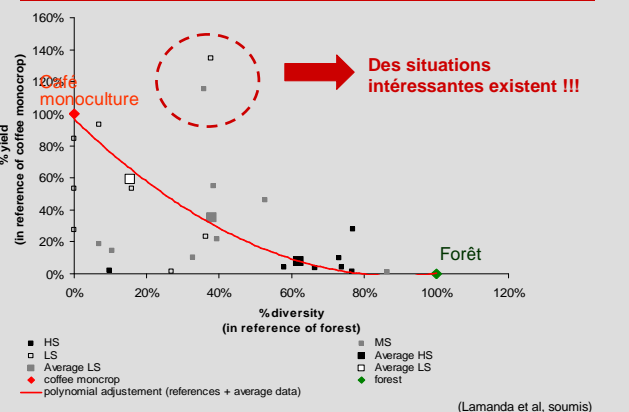
Relation entre niveau d'ombrage et diversité arborée



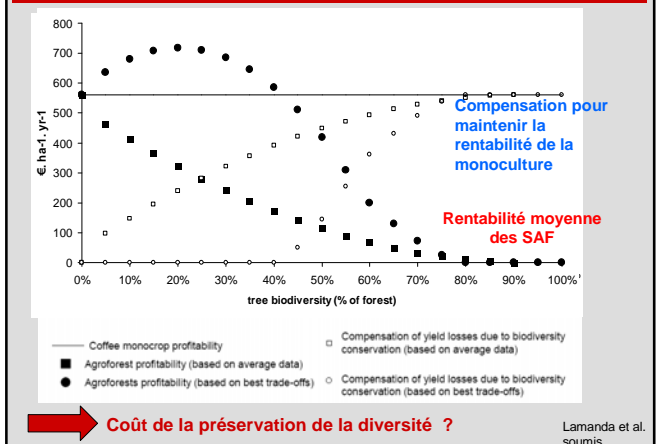
Relation entre niveau d'ombrage et production de café



Identification des compromis entre production de café et biodiversité arborée



L'espace théorique des meilleures compromis

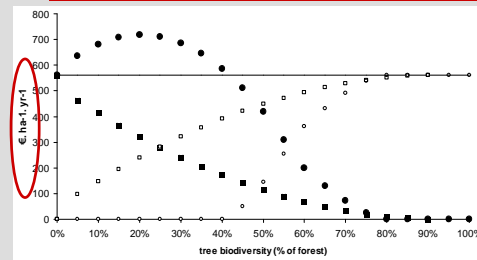


Une première évaluation du compromis entre production de café et conservation biodiversité arborée

Qui pose des questions :

- Sur l'intégration des autres produits et services fournis par les parcelles
- Sur les processus déterminant les meilleures situations ?
- Sur les voies d'amélioration des compromis entre produits et services fournis par les parcelles dans un cadre de contrainte dynamique (opportunité de marché, main d'œuvre...)

Que devient cette courbe si on y ajoute les profits issus des autres produits ?



D'autres critères : l'apport énergétique ou calorifique, le travail

Et d'autres critères à co-construire pour évaluer la contribution à la sécurité alimentaire, au niveau de vie des populations, ...

Projet CORAF et projet EUROPAID soumis

(avec des cas d'étude sur les SAF cacao du Sud Cameroun)

une diversité de produits à intégrer dans la recherche de compromis



Comment appréhender la diversité de production dans les agroforêts ?

- Hétérogénéité des productions
⇒ quoi mesurer ?
- Variabilité des cycles de productions
⇒ quand mesurer ?
- Hétérogénéité du peuplement = variabilité inter-individuelle (facteurs environnementaux)
⇒ quel échantillonnage ?

Comment intégrer à l'analyse du compromis

Différents produits, usages du peuplement

Des cycles de productions variés (plantains, arbres fruitiers, arbres à bois d'œuvre, de chauffe)

Des acteurs variés, des accès multiples aux produits

Des espèces multi-usages

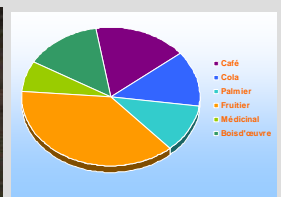


- Fruits pour huile de palme
- Amande pour savon
- Coque de l'amande pour potasse (sauce)
- Palmes pour couverture des cabanes
- Vin
- Troncs pour les ponts, etc...

➔ Nécessite d'une évaluation multicritères

Evaluation multicritère des productions

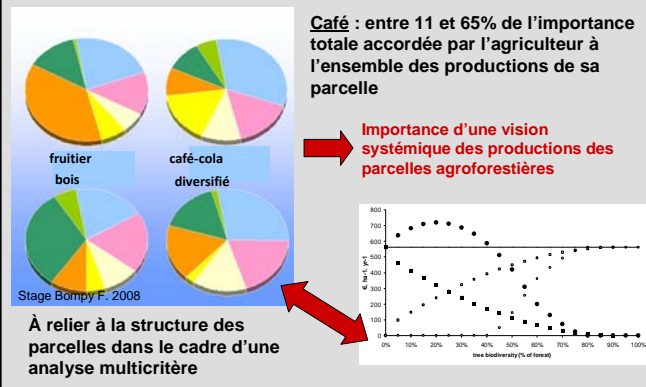
- évaluation participative des productions des parcelles agroforestières de Guinée avec la méthode de « distribution des cailloux » (adaptation de la méthode de Sheil et al., 2004)



Fraction des cailloux correspond à l'importance (multicritère) accordée par l'agriculteur à chaque produit

Lamanda et al. en préparation à partir des stages de Wagler, 2007 Bompoy, 2008

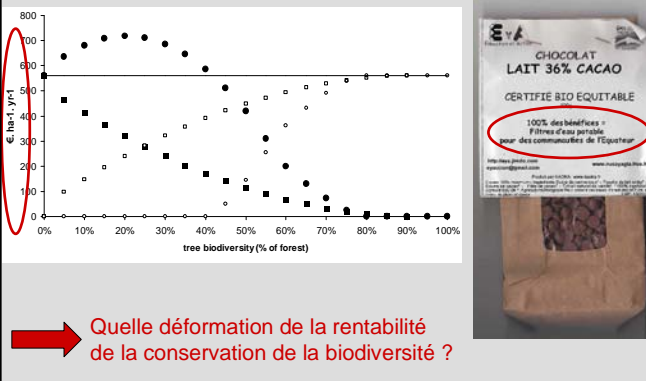
Une diversité de « profil de de production » des agroforêts à café de Guinée



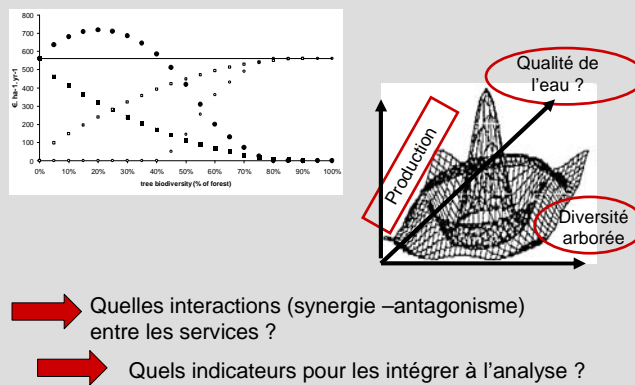
Que devient cette courbe si on rémunère les autres services des SAF?



Que devient cette courbe si on rémunère les autres services des SAF?



Que devient cette courbe si on rémunère les autres services des SAF ?



Un exemple d'évaluation multicritère des SAF

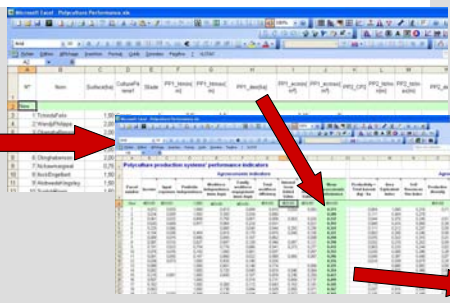
Integrated indicators for performance assessment of traditional agroforestry systems in South West Cameroon

Geraldo Stachetti Rodrigues · Inacio de Barros · Eugene Ejolle Ehab · Patrick Sama Lang · Frank Enjalric

Agroforestry Systems 2009



Enquêtes agricoles et relevés de terrain.



Une représentation combinant différentes dimensions des performances des SAF

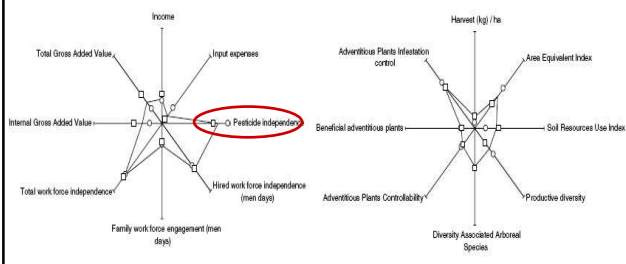
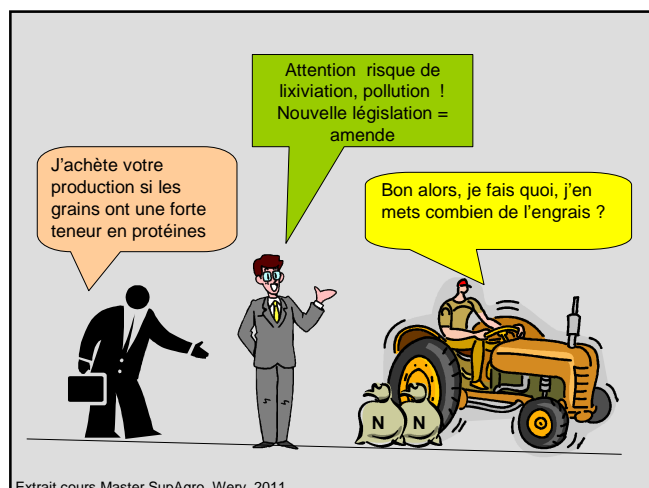
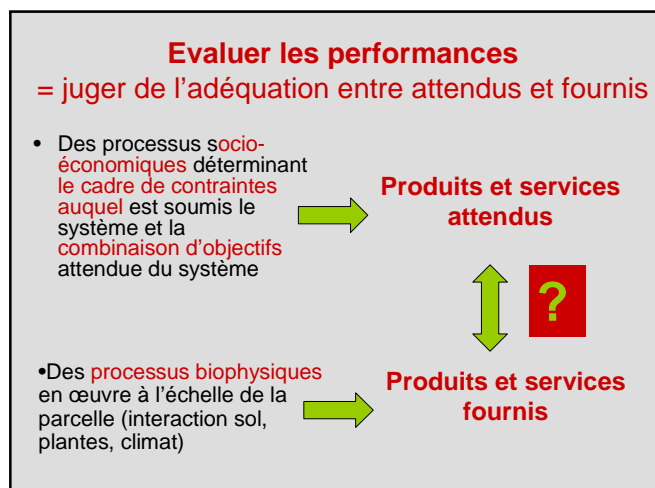


Fig. 3 Mean results for the agroecological and agroecological dimension indicators studied in 38 plots in south west Cameroon with the 'Traditional Agroforestry Performance Indicators System' (TAPIS). ○ mean of immature development stage and □ in production stage of the main crop

Stachetti, et al. 2009

Mais pour qui et par rapport à quoi ?



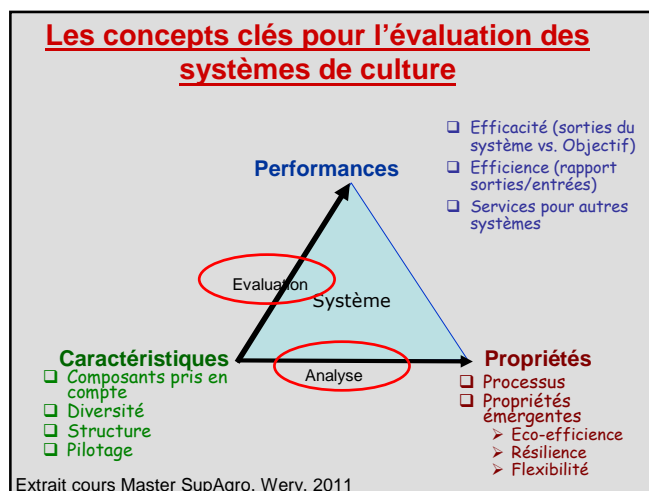
Des indicateurs: pourquoi, pour qui, par rapport à quoi

utilisateur	Objectif	Critère	Indicateur	Références
Agriculteur	Améliorer son niveau de vie	Revenu Travail	Marge brute	Par rapport à d'autres (voisins par ex)
commercial	Acheter du blé pour le transformer	Valeur protéique du blé	Teneur en protéine du blé	Valeur seuil jugée OK pour transformation
politique	Limiter les pollutions liées à l'agriculture	Qualité de l'eau	Quantité azote lixiviée	Valeur seuil fixée dans les textes législatifs

Un même indicateur peut avoir différents sens selon les acteurs. Entre les acteurs, les critères et indicateurs peuvent être différents

Celui qui évalue n'est pas celui qui fixe les critères, qui peuvent dépendre de différents acteurs

Extrait cours Master SupAgro, Wery, 2011



Les 3 grands types d'indicateurs d'un système

Indicateur : Variable délivrant une information sur le système nécessaire et suffisante pour répondre à une question ou prendre une décision

Type d'Indicateur	Action Visée	Utilisateur visé	Qualité essentielle
D'Analyse	Etude du système	Chercheur	Robustesse et précision par rapport au processus
De Pilotage	Modification des entrées ou de la structure	Agriculteur /Conseiller	Performance de la décision qu'il aide à prendre
D'Evaluation	Porter un jugement sur le système	«société» (institutions, acheteurs du produit)	Cohérence avec le mode de raisonnement de l'utilisateur

Extrait cours Master SupAgro, Wery, 2011

La question des échelles dans l'évaluation

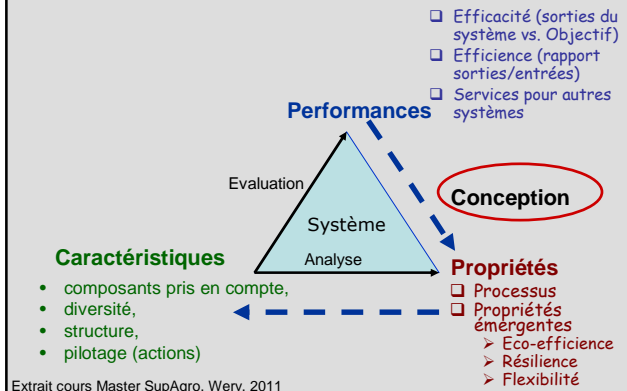
Processus évalué	Echelle d'espace	Horizon temporel
Changement climatique	Pays-globe	Siècle
Qualité de l'eau	Bassin versant	Décennie
Energie	Bassin d'approvisionnement	Année
Biodiversité	Paysage	Décennie
Utilisation des intrants	Exploitation	Année
Impact des bio-agresseurs	Parcelle	Saison

Extrait cours Master SupAgro, Metay, 2010

4- Conception de systèmes de culture agroforestiers

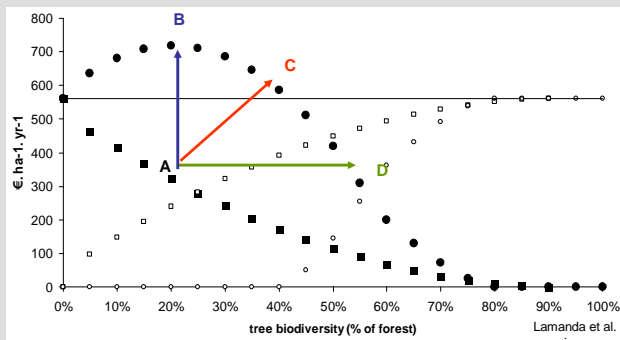
- **Partir de l'existant** pour améliorer ou concevoir de novo
 - Conception des systèmes à différentes échelles
 - Participer à la conception du contexte des systèmes

Les concepts – clé de l'analyse des agrosystèmes



L'évaluation fournit une base de réflexion pour l'amélioration du compromis production – services

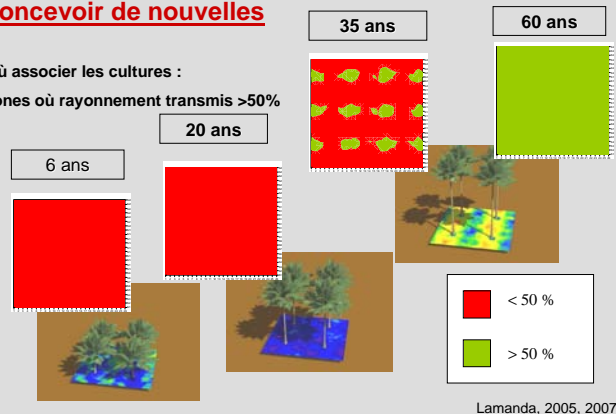
Exemple : à l'échelle de la parcelle



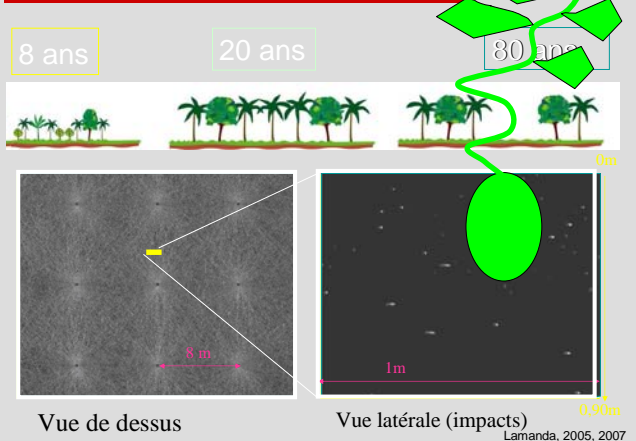
Les sorties des modèles pour identifier les voies d'amélioration des situations existantes ou en concevoir de nouvelles

Où associer les cultures :

zones où rayonnement transmis >50%



Évolution Racinaire des cocotiers



Les sorties des modèles pour identifier les voies d'amélioration des situations existantes ou en concevoir de nouvelles

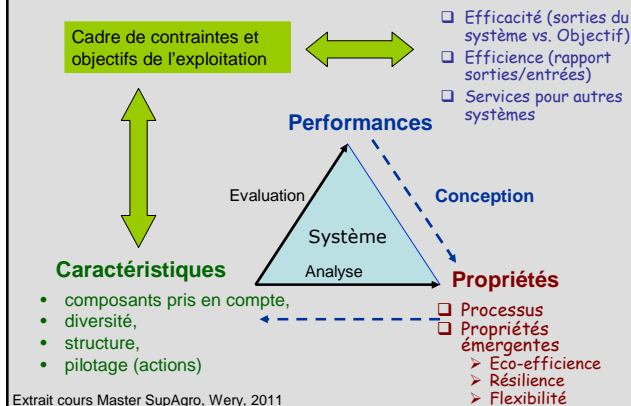
Pour introduire des espèces dans les cocoteraies en production, il faut privilégier celles ayant les caractéristiques suivantes:

- ✓ avec une production aérienne plutôt que racinaire
- ✓ à système racinaire réduit ou pivot
- ✓ tolérant un seuil d'éclairement de l'ordre de 40 %

➡ Par exemple, culture d'épices dans les trouées

➡ Pour concevoir des innovations alliant productivité et respect de l'environnement, l'élaboration de « systèmes candidats » requiert la réalisation d'un diagnostic de l'existant, et l'analyse des possibilités d'adoption par les agriculteurs.

Les concepts – clé de l'analyse des agrosystèmes



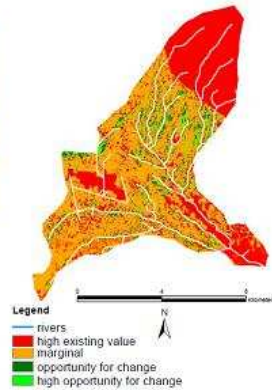
Conception, évaluation et adoption de systèmes de culture innovants durables

- Conception des systèmes de culture nécessite la prise en compte des contraintes du contexte de production (socio-économique, pédo-climatique, juridique) et de la combinaison d'objectifs attendue
- Différentes échelles (espace et temps) :**
 - Parcelle, intra-parcellaire (arrangement spatial par ex)
 - Exploitation (ex : combinaison des activités)
 - Territoire (ex: différentes potentialités)

Caractériser les marges de manoeuvre dans les synergies au sein d'un territoire



Analyse des compromis entre production et SE environnementaux liés à l'eau dans le bassin versant de Sasumua (Kenya) (Sanjeeb Bhattarai, F Sinclair et al, 2009)



Conception, évaluation et adoption de systèmes de culture innovants durables

- Conception des systèmes de culture à différentes échelles (d'espace et de temps)
- Mais peut aussi participer à la conception du **contexte de production**

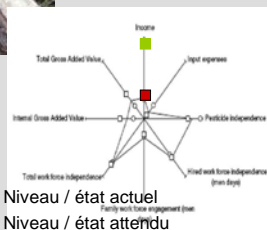
Identifier les points de blocage du système un exemple: le statut juridique des arbres

Code Forestier de la République de Guinée (1999) Loi no. L/99/013/AN, République de Guinée, Conakry, 11 pp

Agroforêts = domaine forestier non classé = Propriété de l'Etat

La coupe du bois et commercialisation sans permis sont illégaux

Le marché du bois ne profite pas aux agriculteurs



Evolution du statut des arbres : une voie pour l'amélioration de la rentabilité des agroforêts ?

Exemple des contraintes identifiées pour l'introduction des arbres dans les champs de céréales (France) : la législation en vigueur

La recherche peut aussi influencer les politiques publiques



mesure 222 du PDRH et circulaire Agroforesterie de Fev. 2010



Conception, évaluation et adoption de systèmes de culture innovants durables

Une démarche en 4 temps :

- 1) préciser l'ensemble d'objectifs et contraintes à satisfaire (contexte et cahier des charges) ;
- 2) exprimer une stratégie agronomique " candidate ", inspirée par le cahier des charges ;
- 3) spécifier un ensemble intégré de règles de décisions ;
- 4) adopter une démarche d'auto-évaluation.

👉 Changement de contexte 👉

Extrait cours Master SupAgro, Metay, 2010

Pour ne pas conclure,

Evaluer les performances (produits et services) des systèmes de culture

- Pourquoi?
 - Différentes finalités: pour savoir, pour comprendre, pour décider, pour améliorer, pour concevoir
- Pour qui?
 - Différents acteurs avec des objectifs, des contraintes (nécessaire co-construction des indicateurs d'évaluation)
- Comment
 - Sur un **objet** (parcelle, sole, territoire, technique, cahier des charges...)
 - Sur un ou plusieurs **aspects** (domaines de durabilité)
 - Avec un ou plusieurs **indicateurs** (et une méthode d'analyse multi-critères)
 - Par rapport à une **référence** (absolue, relative, tendance)
 - Dans un **contexte** (ex rémunération services)

Les outils des agronomes pour l'évaluation des systèmes de culture

L'évaluation des performances du champ cultivé

- o les approches statistiques multivariées
- o la modélisation conceptuelle
- o les modèles numériques de fonctionnement d'une culture
- o les indicateurs de diagnostic

L'évaluation multicritère des systèmes de culture

- o les indicateurs de performance des systèmes de culture
- o les indicateurs d'impacts environnementaux
- o l'identification et l'agrégation des indicateurs: exemples et problèmes posés

Extrait de L'agronomie aujourd'hui, Doré et al., 2007

Au delà de la description et de la compréhension des systèmes agroforestiers,

- Des outils spécifiques pour la conception des systèmes de culture.



Merci de votre accueil



cirad <http://umr-system.cirad.fr/>

